



HAL
open science

Evaluation d'une politique publique et mise au point d'une méthodologie supplémentant le "Net Social Benefit": Cas de l'expérimentation par la Ville de Paris d'une Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air (ZAPA)

Satya-Lekh Proag

► **To cite this version:**

Satya-Lekh Proag. Evaluation d'une politique publique et mise au point d'une méthodologie supplémentant le "Net Social Benefit": Cas de l'expérimentation par la Ville de Paris d'une Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air (ZAPA). Economies et finances. Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, 2015. Français. NNT: . tel-01211641

HAL Id: tel-01211641

<https://hal.science/tel-01211641v1>

Submitted on 5 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

UNIVERSITÉ PARIS 1 PANTHÉON SORBONNE

ECOLE DOCTORALE ECONOMIE PANTHÉON SORBONNE

DISCIPLINE : SCIENCES ECONOMIQUES

THÈSE DE DOCTORAT

présentée et soutenue publiquement par

Satya-Lekh PROAG

le 16 juin 2015

intitulée :

**Evaluation d'une politique publique
et mise en œuvre d'une méthodologie
supplémentant le calcul du « Net Social Benefit »**

**Cas de l'expérimentation par la Ville de Paris
d'une Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air (ZAPA)**

réalisée sous la direction de : **Roland LANTNER**

le jury regroupant :

M. Patrick DIEUAIDE (Rapporteur) :	Maître de Conférences à l'Université Sorbonne Nouvelle - Paris 3
Mme Emmanuelle FAUCHART (Rapporteuse) :	Professeure à l'Université de Strasbourg
M. Roland LANTNER (Directeur de thèse) :	Professeur émérite à l'Université Paris 1 Panthéon Sorbonne
M. Richard LE GOFF (Examinateur) :	Professeur de l'ENSTA ParisTech
M. François PROCHASSON (Examinateur) :	Chef du Pôle Mobilité Durable (DVD/AM) à la Mairie de Paris
Mme Patricia VORNETTI (Examinatrice) :	Maître de Conférences à l'Université Paris 1 Panthéon Sorbonne

L'université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne n'entend donner aucune approbation, ni désapprobation aux opinions émises dans ce mémoire ; elles doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Nous tenons en particulier à remercier l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et la Mairie de Paris qui, par leur cofinancement, ont permis à cette thèse de voir le jour.

Sommaire

Introduction générale	1
I Les limites de l'analyse coûts-bénéfices (CBA) comme outil d'aide à la décision pour l'évaluation de politiques systémiques	27
Introduction de la première partie	30
1 L'aide à la décision : finalités et problèmes	33
2 La CBA : débats et questionnements théoriques	119
3 Les limites de la CBA dans la pratique : interdépendances, propagation des effets et incertitude	160
Conclusion de la première partie	206
II L'outil d'aide à la décision CoBAYe	211
Introduction de la deuxième partie	213
4 Prendre en compte l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées	219
5 La prise en compte de l'incertitude dans CoBAYe	274
6 Représentation dynamique du territoire et formalisation de l'outil d'aide à la décision CoBAYe	308
Conclusion de la deuxième partie	350
III CoBAYe en pratique	355
Introduction de la troisième partie	357
7 Comment utiliser l'outil d'aide à la décision CoBAYe en pratique ?	361

8 Les premiers pas de CoBAYe	404
9 Évaluation par CoBAYe de la politique de mise en place d'un réseau de bornes de recharge électrique à Paris	431
10 Application de l'outil d'aide à la décision CoBAYe à la politique de « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) à Paris	489
Conclusion de la troisième partie	544
Conclusion générale	549
Annexes	570
A Tableau de Leontief	572
B La théorie des jeux - définitions des termes	574
C « Plan anti-pollution »	579
D Classification des véhicules « polluants »	594
Bibliographie	598
Table des matières	636

Introduction générale

Une évaluation économique de politiques publiques

Une politique publique. Le concept de politique publique désigne les interventions d'une autorité investie de puissance publique et de légitimité gouvernementale sur un domaine spécifique de la société ou du territoire (Grawitz et Leca, 1985). Ces interventions peuvent prendre trois formes principales : les politiques publiques véhiculent des contenus, se traduisent par des prestations et génèrent des effets. Pour cela, elles mobilisent des activités et des processus de travail et se déploient à travers des relations avec d'autres acteurs sociaux, collectifs ou individuels. Une politique publique prend alors la forme d'un programme spécifique porté par une autorité gouvernementale (Muller, 2009). Celle-ci agit de deux manières : par des pratiques matériellement repérables (contrôles, construction et entretien d'infrastructures, allocations de subventions financières...) et par des pratiques plus immatérielles (campagnes de communication institutionnelle, discours, propagation de normes...). Ainsi, serait politique publique tout ce que les acteurs gouvernementaux décident de faire ou de ne pas faire, ou ce qu'ils font effectivement ou ne font pas (Mény et Thoenig, 1989) ; mais, s'il est relativement aisé de repérer leurs actes, il l'est moins de repérer leurs « non-actes », c'est-à-dire ce qu'ils refusent ou évitent de faire (Thoenig, 2010). Que produisent ceux qui gouvernent ? Comment et pour quels résultats ? Qui reçoit quoi, quand et comment de la part de la sphère publique ? Ces questions fondent l'analyse et l'évaluation des politiques publiques.

L'évaluation des politiques publiques est traditionnellement présentée comme l'étape de clôture du cycle d'une politique ou comme une phase qui lui impulse une nouvelle dynamique. Toutefois, si l'évaluation peut certes représenter une étape du cycle d'une politique, elle ne se limite pas à un exercice *ex-post*, toujours réalisé après la phase de mise en œuvre. En effet, la démarche évaluative peut accompagner l'exécution administrative (évaluation concomitante), voire précéder l'adoption de la décision (évaluation *ex-ante*).

Par ailleurs, l'évaluation est une pratique où sont appliquées diverses démarches des sciences sociales. Les méthodes et techniques sont alors empruntées à la sociologie, aux sciences économiques et politiques ou encore à la psychologie par exemple (Jacob, 2008). Le développement de cette pratique s'explique traditionnellement par la convergence de trois éléments : la com-

plexification de l'action publique, ses difficultés de pilotage et de légitimation, ainsi que la professionnalisation de l'analyse des politiques publiques pour en faciliter l'intelligibilité (Monnier, 1992). L'évaluation se définit comme une démarche scientifique qui examine de façon systématique et objective les processus, les produits ou les effets d'une politique ou d'un programme public et qui, en fonction de critères définis, porte un jugement sur sa valeur et sa contribution. Pour cela, elle rassemble de l'information sur les interventions publiques afin de produire des connaissances crédibles, persistantes et utiles à la conduite de l'action publique.

Eclairer la prise de décision. Enfin, l'évaluation des politiques publiques est utilisée pour répondre à des objectifs assez différents, parmi lesquels l'aide à la décision, le compte rendu, le management ou encore l'apprentissage (Perret, 2008). En particulier, l'évaluation peut viser à donner au citoyen l'image d'une administration dont l'action est guidée par la rationalité. Dans cette perspective, elle est un instrument d'aide à la décision qui poursuit une utilité sociale en synthétisant les exigences politiques et les contingences techniques. En effet, les connaissances produites par une évaluation peuvent alimenter la prise de décision fondée sur des données probantes (« *evidence-based policy* »). De surcroît, avec une vision prospective, les études d'impact (« *impact assessment* ») cherchent à identifier le potentiel économique et social, ainsi que les répercussions environnementales ou sur la santé publique de politiques en gestation. Il s'agit alors de produire et d'utiliser des connaissances scientifiques rigoureuses pour orienter les décisions relatives à la conception, au financement et à la mise en œuvre de politiques (Jacob, 2010). Dans cette optique, l'évaluation se distingue d'ailleurs de l'analyse des politiques publiques, puisque l'analyse « sert à décrire ou à expliquer comment se réalisent les politiques dans leurs différentes phases, alors que l'évaluation de programmes vise plutôt à juger si les performances sont conformes à des valeurs prescrites ou présumées » (Lemieux, 2006, p. 1).

Deux niveaux de méthode peuvent être distingués pour réaliser une opération évaluative, selon Lascoumes et Setbon (1996) :

1. La « *méthode processus* », qui est constituée des principes méthodologiques applicables à la conception, l'organisation, la conduite et la valorisation de l'évaluation. Cet aspect de la méthode inclut notamment la construction d'un dispositif de pilotage de l'évaluation,

l'élaboration du questionnaire et du référentiel, le choix des méthodes, la planification et le suivi du programme d'étude et la rédaction du rapport d'évaluation.

2. La « *méthode outil* », qui consiste en les techniques de collecte, de traitement et d'interprétation de l'information ainsi que les corpus scientifiques susceptibles d'être mobilisés dans le cadre d'une évaluation.

Dans l'objectif d'éclairer la prise de décision, l'évaluation économique des politiques publiques, et notamment celles de mobilité et d'amélioration de la qualité de l'air, utilise souvent la « *méthode processus* », notamment par l'emploi de l'analyse coûts-bénéfices¹ - CBA (Pearce, 1998; Sen, 2000b; Weimer et Vining, 2005). Cette méthode consiste à identifier les conséquences sur la société de la décision publique, relatives aux secteurs étudiés, et à y attribuer, pour chacune d'entre elles, une valeur monétaire. Ainsi, l'agrégation (positive ou négative) de ces valeurs est possible en une même unité scalaire. Ce résultat, appelé « *Net Social Benefit* », représente alors la valeur que la société attribue à la mise en œuvre de la politique publique.

Or, pour de telles politiques, les éléments techniques ne permettent pas toujours, à eux seuls, d'aider le décideur à opérer ses choix ; et une approche pluridisciplinaire est nécessaire. Les caractéristiques du territoire sont fondamentales, par exemple, comme la localisation des bassins d'emplois et de logements, l'existence et l'usage des infrastructures de transport alternatif au véhicule particulier ou encore les ressources disponibles ou créées par la mise en opération de la politique publique. De plus, parmi ces caractéristiques, les éléments humains sont essentiels. Chaque acteur du territoire peut envisager des stratégies - publiques ou privées - pour tirer profit des opportunités engendrées grâce à la décision publique ou pour réagir aux comportements des autres acteurs et, par exemple, se positionner sur de nouveaux marchés. Des jeux d'acteurs se mettent alors en place sur les différents marchés concernés par la décision publique et, par conséquent, nous pensons que leur connaissance et leur analyse sont au moins aussi importantes pour un décideur que celles des éléments techniques, s'il a pour objectif d'anticiper, de soutenir ou de développer de futures mesures publiques.

1. Les expressions anglaises « *cost-benefit analysis* » (Mishan, 1982), « *benefit-cost analysis* » (Zerbe Jr. *et al.*, 2006) et française « analyse coûts-avantages » (Guillaume, 1972) sont également employées pour désigner cette technique d'évaluation économique qui sera exposée plus en détail aux Chapitres 2 et 3. Dans ce mémoire, nous avons choisi de privilégier l'emploi de l'expression « analyse coûts-bénéfices » (CBA) pour être le plus proche de la formulation originale anglaise.

Certes, les CBA ont l'avantage de permettre l'agrégation dans une même unité des biens et des services différents, marchands ou non-marchands, les rendant ainsi attractives pour un décideur qui peut alors se contenter d'examiner si le « Net Social Benefit » de la mise en œuvre de l'action publique est positif ou négatif avant de prendre sa décision². Cependant, l'usage de cet outil d'aide à la décision pour des politiques systémiques, c'est-à-dire pour des décisions dont les conséquences concernent divers acteurs, agissant au sein de marchés interdépendants et dynamiques³, présente des limites qui peuvent mettre en danger l'efficacité de la décision. En effet, au cours de son étape d'analyse « en amont » (c'est-à-dire avant l'étape de valorisation monétaire) d'une politique, la CBA ne fait que très rarement l'évaluation des secteurs qui ne correspondent pas à l'objectif de la décision, et seuls des effets unisectoriels sont alors pris en considération (Mishan, 1982; Eijgenraam *et al.*, 2000). Comment, dans ce cas, est-il possible de tenir compte de tous les effets interdépendants d'une politique intersectorielle, comme les politiques de mobilité pour l'amélioration de la qualité de l'air ? De plus, la propagation des effets, conséquence de la mise en œuvre de la politique n'est que très rarement envisagée (Banister et Berechman, 2000), c'est-à-dire que les développements d'activités - publics et privés - qui peuvent alors être engendrés par la nouvelle configuration économique du territoire, à l'issue de la mise en œuvre de la politique, ne sont pas pris en compte. Or, et de surcroît dans une vision à moyen ou long terme, n'est-il pas pertinent de prendre en compte des bénéfices potentiels (ou des coûts éventuels) ultérieurs pour évaluer l'efficacité - ou même l'efficience - de la décision prise ? Les comportements et actions des agents qui vont utiliser les nouvelles conditions du territoire ainsi créées pour développer des activités économiques ne pourraient-elles pas orienter le choix du décideur, par exemple à travers des mécanismes d'anticipation ? Enfin, dans l'évaluation des effets sectoriels de la décision, la CBA ne tient compte que de l'incertitude probabiliste quant à leur occurrence, pour pouvoir leur attribuer une valeur monétaire (Boardman *et al.*, 2010). La durée d'évaluation est alors déterminée *a priori*, en fonction de critères techniques ou politiques, le plus souvent. Ne faudrait-il pourtant pas tenir compte d'une autre forme d'incertitude, intrinsèque à l'environnement (Knight, 1921; Keynes, 1937), ou aux acteurs impliqués par la décision eux-

2. Les choix d'un décideur public se fondent évidemment aussi sur d'autres critères que le seul résultat d'une CBA. Sa vision politique, son attrait pour examiner des phénomènes sociaux ou environnementaux ou, de façon plus générale, les critères économiques et politiques pour lesquels il souhaite (ou non) une intervention publique, peuvent par exemple être d'autres raisons motivant son choix.

3. Nous utiliserons pour la suite l'expression « décision systémique », ou « politique systémique » pour caractériser de telles décisions, privées ou publiques.

mêmes (Simon, 1955; Kahneman et Tversky, 1979)? Et, le cas échéant, comment justifier la décision d'une durée d'évaluation *ex-ante*, si l'incertitude caractérisant les effets de cette décision est trop importante avant son terme?

Comment, dans ce cas, et jusqu'à quand évaluer une politique systémique? De telles décisions ne nécessitent-elles pas une évaluation avec une approche qui soit également systémique? Ces trois limites identifiées de la CBA nous ont ainsi poussé à créer et proposer un nouvel outil d'aide à la décision nommé CoBAYe (« *Cost-Benefit Analysis under Interdependence and uncertainty* »), créé sur le principe de la CBA, mais différent dans ses hypothèses aussi bien que dans sa mise en œuvre pratique (Le Goff et Proag, 2014a). En particulier, notre contribution a pour objectif de :

1. **Proposer une typologie d'identification** des anticipations, actions et réactions des acteurs concernés par la mise en œuvre de la politique publique ainsi que de leurs réactions face aux comportements des autres acteurs. Pour cela, une typologie des *effets directs*, *indirects* et *induits* de la décision publique, ainsi que des « *opportunity benefits* » est développée pour permettre l'identification des conséquences de la décision par les acteurs concernés eux-mêmes.
2. **Développer un cadre théorique adéquat** qui permet de tenir compte des jeux d'acteurs et des interdépendances entre acteurs publics et privés. En particulier, la définition et la représentation de la *structure topo-économique* du territoire au sein duquel est appliquée la décision permet d'envisager les interactions entre les *effets* identifiés de façon dynamique.
3. **Tenir compte de différents types d'incertitude** caractérisant la décision, en proposant une « règle d'arrêt » (Simon, 1955) d'identification des effets qui soit endogène au processus de décision lui-même, et permettant ainsi de définir un horizon temporel de leur évaluation.
4. **Proposer un processus de concertation** antérieur à la décision, entre le (ou les) décideur(s) et les acteurs concernés par la décision, pour permettre à chacun d'anticiper à la fois les conséquences de ses comportements et de celles des autres, en vue d'améliorer l'efficacité (ou l'équité⁴) de la décision. Cette mise en œuvre pratique de l'outil s'inscrit dans une démarche de démocratie participative de plus en plus souhaitée par les citoyens et proposée par les gouvernements locaux (Mutz, 2006; Pateman, 2012; Fagence, 2014). Ainsi,

4. Le choix entre efficacité et équité, par exemple, dépend de la vision politique du décideur public.

la méthode CoBAYe, résumée à travers les trois premiers points, est alors développée au sein de ce processus de décision pour former l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

Au cours de ce manuscrit, nous allons donc :

- (I) exposer la démarche de construction de cet outil,
- (II) présenter les hypothèses théoriques sur lesquelles il s'appuie,
- (III) et, enfin, développer des exemples de mise en œuvre pratique de l'outil CoBAYe, pour des politiques intersectorielles dont les effets sont systémiques.

Par ailleurs, même si, en toute rigueur, toute la démonstration peut être réalisée pour des décisions relevant du secteur public (au sein d'une collectivité territoriale par exemple) ou du secteur privé (à l'intérieur d'un comité de direction d'une entreprise par exemple), nous avons choisi d'illustrer nos propos par des exemples issus de politiques publiques et, en particulier, sur des sujets de mobilité urbaine et d'amélioration de la qualité de l'air. Ce choix d'illustration n'enlève rien à la démonstration et permet de surcroît de s'adapter aux contraintes des deux cofinanceurs de la thèse : l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et la Mairie de Paris.

Le contexte

Un problème de qualité de l'air à Paris

Notre recherche part d'un constat. Le problème de la pollution atmosphérique dans les villes et les zones métropolitaines développées est réel et sérieux. Ce problème est évidemment bien connu mais il demeure complexe à traiter et les solutions mises en place n'ont pas encore atteint leur objectif. En effet, outre le caractère systémique, planétaire et global de la pollution atmosphérique dont les effets se ressentent sur une ville, sa taille, sa topographie et sa forme, en sus des facteurs externes tels que le vent, les conditions météorologiques, voire la présence d'un complexe industriel dans le voisinage, sont des paramètres qui réduisent la qualité de l'air pour les citoyens urbains (Elichegaray *et al.*, 2010; ADEME, 2014a).

Parmi ces polluants atmosphériques, deux semblent parmi les plus néfastes (Journal Officiel de l'Union Européenne, 2008) : les particules fines en suspension⁵ (notées PM_{10}) et le dioxyde d'azote (NO_2). Les premières sont un type de poussières, que l'on trouve en majorité dans les suies. Elles peuvent être émises lors de la combustion automobile (ADEME, 2014b), mais aussi par les procédés de chauffage au bois ou dans l'industrie lourde par exemple⁶. Le deuxième polluant atmosphérique est le dioxyde d'azote, également en grande majorité émis par le trafic routier⁷.

Les avertissements quant aux dangers de la pollution en ville sont pourtant légion. Au niveau international par exemple, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a édité en octobre 2013 un rapport énonçant tous les risques cancérigènes liés à la mauvaise qualité de l'air dans les zones urbaines (OMS, 2013), sur la base d'analyses menées un an plus tôt par le Centre International de Recherche sur le Cancer (Benbrahim-Tallaa *et al.*, 2012). Ainsi selon l'OMS, au moins 7 millions des décès prématurés sont liés à la pollution de l'air chaque année dans le monde (OMS, 2014; OMS Bureau Régional pour l'Europe et OECD, 2015). À l'échelle européenne, plusieurs projets mettent également en évidence les dangers de la pollution atmosphérique pour la santé. Ainsi, par exemple, le programme *Clean Air For Europe* de la Commission européenne avait pour mission d'établir une stratégie à long terme de lutte contre la pollution atmosphérique pour protéger la santé humaine et avait pour rôle de communiquer les résultats sur les dangers de l'exposition aux polluants en Europe (Clean Air For Europe, 2004, 2006). À l'issue d'une évaluation menée sur les 25 pays membres en 2005, un de ses nombreux rapports estimait par exemple que les particules fines émises par les activités humaines seraient responsables d'environ 348 000 morts prématurées par an en Europe et 42 000 décès prématurés en France, correspondant à une diminution de l'espérance de vie moyenne de près de 8 mois (Clean Air For Europe, 2005).

5. Dans l'abréviation PM_{10} on distingue les mots anglais « *particulate matter* », qui signifie « particules fines en suspension », et surtout 10, qui désigne le diamètre de la poussière : il est inférieur à dix micromètres. D'autres particules existent, notées $PM_{2,5}$: celles-ci sont donc de diamètre au moins quatre fois plus petit et peuvent plus aisément entrer et se fixer dans nos voies respiratoires.

6. Une autre source d'émission de ces particules, plus gênante car inéluctable, est l'abrasion : les particules fines en suspension peuvent aussi être émises par le frottement des pneus sur la route (Airparif, 2014), voire des semelles de chaussures sur le trottoir.

7. Les moteurs diesel et les centrales thermiques sont parmi les premiers émetteurs du dioxyde d'azote. Toutefois, sous certaines conditions, des réactions peuvent se produire entre d'autres oxydes d'azote (le NO par exemple) et l'ozone (O_3) de l'air pour produire du dioxyde d'azote. Cela complexifie d'autant les possibilités d'action pour diminuer la concentration atmosphérique en NO_2 (Clapp et Jenkin, 2001; Han *et al.*, 2011).

Plus récemment en 2011, le projet *Aphekom*, coordonné par l'Institut de Veille Sanitaire pour la Commission Européenne et mené dans 25 métropoles de 12 pays européens (InVS, 2011), a établi entre autres que :

- diminuer davantage les niveaux de particules fines dans l'air des villes européennes entraînerait un bénéfice important en termes d'augmentation de l'espérance de vie ;
- habiter à proximité du trafic routier augmente sensiblement le risque de mortalité⁸.

Enfin, à l'échelle nationale, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES) communiquent fréquemment sur le réel danger de ces poussières et ces gaz ainsi que sur leurs effets néfastes pour la santé (ADEME, 2011, 2014c; Afsset, 2009, 2010). Selon leur taille, les particules fines pénètrent plus ou moins profondément dans le système respiratoire, ce qui crée un risque d'asthme. De surcroît, selon le CITEPA⁹, « les particules solides servent de vecteurs à différentes substances toxiques voire cancérogènes ou mutagènes (métaux lourds, HAP¹⁰,...) et restent de ce fait un sujet important de préoccupation »¹¹. Le dioxyde d'azote, quant à lui, est un oxydant et un poison violent, et son inhalation provoque une réaction avec l'eau des muqueuses, pour produire de l'acide nitrique : on risque alors un œdème pulmonaire.

Ainsi, selon de nombreuses études, les fortes concentrations de polluants atmosphériques sont responsables à la fois d'effets immédiats et à long terme sur la santé : asthme, allergies, maladies respiratoires ou cardio-vasculaires... (ADEME, 2014c). Les sources émettrices de polluants dans l'atmosphère sont nombreuses et, en plus des sources naturelles, concernent tous les secteurs relatifs aux activités humaines : domestique via le chauffage, industrie, agriculture, transports... (APUR, 2012a; ADEME, 2013b). Cependant, le trafic routier est en particulier un des secteurs

8. Les auteurs ont également mené une analyse économique pour tenter d'appuyer leurs résultats sanitaires par des valeurs monétaires. Ils affirment ainsi que, d'une part, du fait de la diminution des dépenses de santé, de l'absentéisme et des coûts associés à la perte de bien-être et de qualité d'espérance de vie, la diminution de la concentration de particules fines jusqu'au taux maximum imposé par l'Union Européenne se traduirait sur le plan économique par un bénéfice d'environ 31,5 milliards d'euros et, d'autre part, le coût d'habiter à proximité du trafic routier s'élèverait à environ 300 millions d'euros chaque année pour ces villes.

9. Le CITEPA est le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. Cette association assure la réalisation technique des inventaires de la pollution atmosphérique en France.

10. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des composés toxiques qui peuvent provoquer des dysfonctionnements cellulaires.

11. www.citepa.org, dernier accès en novembre 2014.

les plus émetteurs de ces deux polluants. Selon Airparif¹², ce secteur est d'ailleurs responsable pour 53 % du total d'émissions de particules fines (Airparif, 2011; STIF, 2012; ADEME, 2013c). Il n'est donc pas anodin que les villes européennes de plus de 100 000 habitants, dont les niveaux de pollution atmosphérique locale dépassaient les normes européennes, aient choisi comme « plan relatif à la qualité de l'air » une mesure environnementale qui agirait sur le secteur routier.

En particulier, du fait de sa densité de population et d'activités, la région Île-de-France est particulièrement concernée par la question de la pollution liée au trafic et par son impact sur la santé (APUR, 2012b) :

1. Sur les oxydes d'azote :

- en 2010, 3,2 millions de Franciliens sont exposés à des dépassements de la valeur limite en NO_x , fixée par l'OMS, au cœur de l'agglomération ;
- on mesure des valeurs deux fois supérieures aux valeurs limites à proximité du trafic routier ;
- enfin, la tendance est à l'augmentation des émissions de NO_2 eu égard à la part croissante de leurs émissions par les véhicules diesel récents¹³.

2. Sur les particules fines :

- 1 million de Franciliens sont exposés à des dépassements de la valeur limite pour les PM_{10} au cœur de l'agglomération ;
- les dépassements sont récurrents et importants à proximité du trafic ;
- l'ensemble des Franciliens est exposé à des dépassements des objectifs de qualité de l'air pour les $PM_{2,5}$, avec des valeurs de fond presque deux fois supérieures aux seuils et des valeurs trois fois supérieures à proximité du trafic.

Face à cet enjeu de santé publique, des actions individuelles et des changements de comportement sont sans doute nécessaires. Cependant, ces comportements individuels peuvent avoir un impact plus important s'ils sont encadrés, que ce soit par le tissu associatif ou les gouvernements locaux ou nationaux.

12. Airparif est l'agence de surveillance de la qualité de l'air de la région Ile-de-France. Son rôle est de contrôler la qualité de l'air, mais aussi de comprendre et de diffuser au grand public les dangers associés à une pollution atmosphérique urbaine.

13. Les nouvelles motorisations utilisent des techniques de combustion qui diminuent les émissions de particules fines mais, en ce faisant, les émissions de NO_2 sont malheureusement moins réduites.

La décision publique : résoudre le problème à travers une politique de mobilité

La décision à l'échelle européenne

Au vu des effets de la pollution précédemment cités, les directives européennes de qualité de l'air ont fixé des valeurs limites admissibles dans l'air ambiant pour les particules PM_{10} et $PM_{2,5}$, ainsi que pour le NO_2 ¹⁴ (Journal Officiel des Communautés Européennes, 1999; Journal Officiel de l'Union Européenne, 2008). En particulier, la directive européenne 2008/50/CE, qui « concern[e] la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe », oblige les États membres de l'Union à prendre des mesures pour améliorer la qualité de l'air ambiant si, au sein de leur territoire, sont observées des zones dont les normes de qualité de l'air sont dépassées. Ces zones en question ne sont *a priori* pas forcément urbaines, mais il se trouve que la majorité des polluants atmosphériques sont émis par la ville. Les actions que doivent entreprendre les États membres peuvent être de plusieurs formes. D'ailleurs, pour les désigner, la directive utilise le vocable « plans relatifs à la qualité de l'air ». Cependant, il se trouve que la majorité de ces États ont choisi un type de mesure bien particulier : cibler le trafic routier, en créant des zones de restriction de la circulation dans les villes qui présentaient des dépassements de polluants atmosphériques.

La décision à l'échelle nationale

Sous l'impulsion de la directive européenne 2008/50/CE, concernant l'amélioration de la qualité de l'air ambiant, de nombreuses agglomérations de l'Union Européenne ont mis en place des zones urbaines environnementales (« *Low Emission Zones* » - LEZ), au sein desquelles les véhicules qui ne sont pas considérés comme respectueux de la qualité de l'air ne sont plus autorisés à circuler (Journal Officiel de l'Union Européenne, 2008, Annexe XV, B, 3, d. de la directive 2008/50/CE). La transposition de cette directive en France est réalisée en octobre 2010. Auparavant, et devant la menace de l'Union Européenne d'assigner la France devant la Cour de Justice de l'Union Européenne (CJUE) pour ne pas avoir pris de mesures efficaces pour remédier au problème des émissions excessives et de non-respect des normes de particules fines en suspension dans seize des

14. Les deux polluants principaux ciblés par la directive 2008/50/CE sont donc directement dangereux pour la santé humaine. Il ne faut donc pas confondre ces deux polluants atmosphériques avec le non moins célèbre dioxyde de carbone (CO_2), par exemple. Il s'agit certes d'un polluant atmosphérique également, puisqu'il développe des impacts négatifs sur l'environnement au-delà d'un certain seuil, mais il n'est pas dangereux pour la santé, du moins pas de manière directe.

régions du pays¹⁵, le ministère en charge de l'écologie adopte le Plan Particules (juillet 2010), dont une des mesures est l'expérimentation de dispositifs équivalents aux LEZ. Cela se traduit par l'article 182 de la loi du Grenelle 2 (12 juillet 2010), qui donne alors naissance juridiquement aux ZAPA, lorsqu'elle affirme qu'« une [Z]one d'[A]ctions [P]rioritaires pour l'[A]ir, dont l'accès est interdit aux véhicules contribuant le plus à la pollution atmosphérique, peut être instituée, à titre expérimental, afin de lutter contre cette pollution et notamment réduire les émissions de particules et d'oxydes d'azote ». Huit communes et groupements de communes, dont la Ville de Paris en septembre 2010, se portent alors candidates pour étudier la faisabilité de la mise en place d'une ZAPA sur son territoire, via l'appel à projet de l'ADEME. La Ville de Paris délibère alors du financement de cette étude de faisabilité en mars 2011, le but étant, notamment, d'évaluer l'impact d'une telle mesure sur les concentrations atmosphériques urbaines de deux polluants locaux : les particules fines (PM_{10}) et le dioxyde d'azote (NO_2). Par ailleurs, après les manifestations d'intérêt politique européennes, nationales et parisiennes, le secteur médical dénonce également les dangers de ces polluants atmosphériques quotidiens. En effet, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), agence de l'Organisation Mondiale de la Santé, classe les gaz d'échappement diesel en « cancérogènes certains » (groupe 1) pour l'homme en juin 2012, donnant une justification scientifique supplémentaire à la lutte contre la pollution atmosphérique en agissant sur le secteur des transports routiers.

En France, et en particulier à Paris, un projet de zone à basses émissions est prévu, mais il n'utilise toutefois pas la dénomination de LEZ. En effet, la ZAPA est une des mesures

15. Le contentieux qui lie la France et l'Union Européenne à ce sujet est en cours d'instruction devant la CJUE depuis avril 2011 et, depuis le 22 février 2013, la France a reçu une lettre de mise en demeure par la Commission Européenne pour non-respect des valeurs limites de PM_{10} et non mise en place de plan d'actions dans 11 zones, couvrant notamment 11 agglomérations de plus de 100 000 habitants. Plus récemment, le 29 avril 2015, la Commission Européenne a demandé à la France par avis motivé de « respecter la législation de l'UE exigeant que les Etats membres limitent l'exposition de leurs citoyens aux particules fines en définissant des valeurs limites à ne pas dépasser. [...] La Commission Européenne considère que la France n'a pas adopté les mesures qui auraient dû être appliquées depuis 2005 pour protéger la santé de ses citoyens, et elle lui demande de prendre des mesures ambitieuses, rapides et efficaces afin que la période de non-conformité soit la plus courte possible. Si la France ne réagit pas dans un délai de deux mois, la Commission pourra saisir la Cour de justice de l'Union Européenne » (Commission Européenne, 2015). Enfin, la France pourrait même être poursuivie pour non-respect des valeurs limites pour le dioxyde d'azote dans 24 zones (ADEME, 2014b).

d'amélioration de la qualité de l'air du plan Particules, lui-même institué par la loi dite « Grenelle I »¹⁶ et validé le 28 juillet 2010.

Selon le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, du Transport et du Logement (MEDDTL, 2010), « le principe des ZAPA repose sur l'interdiction d'accès aux véhicules les plus polluants en zone urbaine, et sur le développement d'une dynamique plus large de réduction des émissions atmosphériques, notamment des particules et des oxydes d'azote (NO_x) »¹⁷. La législation transmise par le MEDDTL poursuit par : « ces ZAPA pourront être instituées, à titre expérimental pour trois ans, à l'initiative des communes ou groupements de communes de plus de 100 000 habitants, notamment dans les zones considérées comme des points noirs de pollution et pour lesquelles les valeurs limites réglementaires de la qualité de l'air ne sont pas – ou sont susceptibles de ne pas être – respectées ».

Si la Ville de Paris est une des huit collectivités à avoir répondu à l'appel du Ministère¹⁸, c'est parce qu'on observe à Paris un dépassement des seuils de qualité de l'air en particules fines plus de 150 jours¹⁹ par an. Pour des raisons similaires, les autres collectivités candidates pour mettre en place des zones pionnières sont : la communauté d'agglomération de Plaine Commune, Clermont Communauté, Nice Côte d'Azur, Grenoble Alpes Métropole, le Grand Lyon, la Communauté de Pays d'Aix et la Communauté Urbaine de Bordeaux²⁰. Avec la ville de Paris, elles ont toutes étudié, à partir de l'année 2010²¹, la possibilité d'une expérimentation d'une ZAPA sur leur territoire et ont pour cela bénéficié de l'accompagnement de l'État, via l'appel à

16. La loi Grenelle I, ou loi 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, est une loi française de programmation qui formalise les engagements du Grenelle de l'environnement.

17. Il est intéressant de noter que ce n'est pas le dioxyde d'azote (NO_2) en tant que tel qui est ciblé par la loi Grenelle I, mais bien les oxydes d'azote (NO_x). Cette distinction peut sembler un détail négligeable pour certains, mais les scientifiques y accordent beaucoup d'importance, et pour cause, tenter de diminuer la concentration de NO_2 ou de NO_x relève de méthodes bien différentes.

18. En toute rigueur, les collectivités territoriales ont répondu à l'appel de l'ADEME, qui a été chargée par le MEDDTL de favoriser l'éclosion des ZAPA et de coordonner les études de faisabilité des différentes collectivités.

19. L'Union Européenne n'autorise que des dépassements au maximum 35 jours par an.

20. Site internet du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, du Transport et du Logement, aujourd'hui sous le nom de Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie : <http://www.developpement-durable.gouv.fr>, dernière consultation au 20 juin 2013

21. À partir de fin 2010, le mois exact dépendant de la commune ou du groupement de communes considéré. Paris a répondu à l'appel à projets de l'ADEME pour la mise en place des ZAPA en novembre 2010.

projets « études de faisabilité ZAPA » précédemment mentionné, lancé avec l'ADEME auprès des collectivités début juillet 2010.

Bien que les collectivités candidates aient la possibilité de définir leurs propres modalités de mise en place, les ZAPA ne sont pas la première déclinaison de « plans relatifs à la qualité de l'air » en Europe. En effet, elles ne vont peut-être pas y ressembler, mais il y a de fortes chances que les ZAPA françaises s'inspirent des exemples étrangers de « *Low Emission Zones* ». En effet, le MEDDTL et l'ADEME promeuvent et ont publié de nombreux rapports décrivant les modalités d'entrée dans les LEZ en Europe (Grimot, 2010; Sadler Consultants, 2010; ADEME, 2011). De plus, leurs interventions²² prennent souvent appui sur les exemples étrangers lors des comités de pilotage nationaux²³.

Pourtant, parmi les 183 LEZ²⁴ recensées aujourd'hui, aucune ne se ressemble. Nous ne parlons pas là des caractéristiques des villes qui ont mis en place des LEZ, mais bien des LEZ elles-mêmes. Elles diffèrent toutes l'une de l'autre, soit par leur taille, soit par le type de véhicules affectés, soit par leur mode de gouvernance, soit encore par le moyen de contrôle choisi pour identifier les contrevenants. Ce constat est étonnant. Pourquoi, à partir d'une même directive européenne, trouve-t-on une telle diversité dans la mise en application des LEZ ? Pourquoi l'action publique diffère-t-elle autant de la décision publique ? Les LEZ ont (quasiment) toutes le même objectif, et pourtant, elles ont toutes des modalités d'entrée ou de gouvernance différentes. Cette pluralité de mises en œuvre possibles correspond à une pluralité de décisions. Dans quelles conditions ces décisions ont-elles lieu ? Et sur quels critères les décideurs peuvent-ils s'appuyer pour être accompagnés dans leurs choix ?

La décision à l'échelle locale

Après avoir répondu en septembre 2010 à l'appel à projets du gouvernement pour étudier la faisabilité d'une Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air sur son territoire, la Mairie de Paris a

22. L'ADEME a également organisé une visite des « *Umweltzonen* » de Berlin et de l'agglomération de la Ruhr en octobre 2011, en conviant des élus et des techniciens, appartenant aux villes qui se sont portées candidates à la mise en place des ZAPA.

23. Ces comités de pilotage font notamment intervenir les représentants du MEDDTL, de l'ADEME, et ceux des différentes collectivités volontaires pour mettre en place une ZAPA.

24. Ces 183 LEZ ne sont pas toutes en activité simultanément ; certaines ne fonctionnant que de façon saisonnière, par exemple.

entrepris, en collaboration avec les services décentralisés de l'Etat (DRIEA, DRIEE, Préfecture de Police de Paris), ceux de la Région Ile-de-France (STIF, Airparif), les départements de la Région et l'Atelier Parisien d'Urbanisme entre autres, des études pluridisciplinaires pour évaluer les conséquences d'une ZAPA sur le territoire parisien et francilien. En juillet 2012, ces travaux ont abouti à la publication de résultats des études, déclinés en fonction de scénarios se distinguant par le périmètre du « territoire d'accueil » de la ZAPA et la nature des véhicules ciblés (APUR, 2012a,b).

Cependant, les interprétations de ces études de faisabilité et de celles des autres territoires volontaires sont diverses. D'un côté, à l'échelle nationale, le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) présente en février 2013 au Comité Interministériel de la Qualité de l'Air (CIQA) son « Plan d'urgence pour la qualité de l'air », dans lequel la ministre acte « l'échec [du] dispositif [ZAPA], jugé socialement injuste et écologiquement inefficace » tout en dressant un total de 38 mesures à être débattues et éventuellement intégrées par les zones actuellement soumises au contentieux européen dans leur Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) ou à adapter et mettre en œuvre au niveau local. D'un autre côté, à l'échelle locale, le Maire de Paris présente quelques mois plus tôt sa communication au Conseil de Paris de novembre 2012 sur la lutte contre la pollution, en mettant notamment l'accent sur l'interdiction progressive des véhicules les plus polluants (Conseil de Paris, 2012). Celle-ci se décline en plusieurs mesures dont notamment la diminution de la vitesse de 80 km/h à 70 km/h le long du boulevard périphérique, la mise en place de « zones 30 » et de « zones de rencontre » supplémentaires, l'instauration d'un péage sur les autoroutes métropolitaines, le renforcement de l'infrastructure de charge pour le véhicule électrique et la mise en place d'une proposition pour interdire les véhicules les plus polluants à l'intérieur de la zone urbaine délimitée par l'autoroute A86 incluse. Une des mesures relatives à ce plan de lutte contre la pollution atmosphérique a donc pour but de limiter la circulation des véhicules les plus polluants dans la métropole parisienne.

Cette mesure d'interdiction de circulation des véhicules les plus polluants a ensuite été portée par l'actuelle Maire de Paris après son élection, et modifiée pour donner lieu à une autre communication au Conseil de Paris en février 2015 sur la lutte contre la pollution atmosphérique

(Hidalgo, 2015). Une « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) est alors proposée, pour une mise en place en juillet 2015, et déclinée²⁵ :

- d’une part en la restriction de la circulation des véhicules les plus polluants à Paris²⁶ ;
- et d’autre part en de nombreuses mesures d’accompagnement destinées à des profils d’acteurs différents : voyageurs particuliers, professionnels mobiles, en fonction de déplacements uniquement dans Paris ou également de déplacements Paris-périphérie²⁷.

Cette thèse de doctorat a été financée depuis décembre 2011 par l’ADEME et la Mairie de Paris, avec pour objectif une évaluation socio-économique de la ZAPA à Paris. Aujourd’hui, à l’aune de l’historique de cette mesure publique, la thèse contribue par conséquent :

- d’une part, de façon théorique, à créer et proposer un outil d’aide à la décision, nommé CoBAYe, qui permet de tenir compte des interdépendances dynamiques entre acteurs concernés par une décision intersectorielle et dans un registre incertain (Parties I, II et III) et,
- d’autre part, de façon pratique, à exposer une application de cet outil qui illustre les résultats auxquels pourrait mener une évaluation socio-économique *ex-ante* de la mise en œuvre de la Zone à Circulation Restreinte à Paris (Chapitre 10).

L’aide à la décision collective : de la CBA à CoBAYe

En matière de décision publique relative à des politiques de mobilité urbaine ou d’amélioration de la qualité de l’air, les exemples précédents montrent qu’il est souvent question de décisions collectives. En effet, que ce soit :

- à l’échelle européenne, avec un vote au Parlement Européen pour la promulgation de la directive 2008/50/CE,

25. Une présentation plus détaillée du fonctionnement de la ZCR est exposée au Chapitre 10.

26. Un véhicule est dit « polluant » en fonction de ses émissions de polluants lorsqu’il est en fonctionnement. Les services techniques du gouvernement ont alors établi une classification nationale des véhicules considérés comme polluants sur la base de l’arrêté du 3 mai 2012 établissant la nomenclature des véhicules classés en fonction de leur niveau d’émission de polluants atmosphériques. Une représentation graphique de cette classification est présentée en Annexe D.

27. Le détail des mesures souhaitées par la Maire de Paris pour accompagner le changement de règles de circulation dans la capitale et, en particulier, pour favoriser la diffusion de véhicules « propres », c’est-à-dire électriques, hybrides ou au gaz, a fait l’objet d’une communication en Conseil de Paris les 9 et 10 février 2015. La présentation intégrale de ces mesures est reprise en Annexe C.

- à l'échelle nationale, avec un vote pour entériner la loi Grenelle I ou, plus récemment, les débats à l'Assemblée Nationale au sujet du projet de Loi de Transition Energétique, qui autorise la création de zones à circulation restreinte (ZCR) dans les communes ou agglomérations de plus de 100 000 habitants, ou
- à l'échelle locale, où le Conseil de Paris, par exemple, peut voter la mise en application de Zones à Circulation Restreinte sur son territoire,

il s'agit toujours de décisions pour lesquelles un ensemble d'élus doit se prononcer. Par ailleurs, des décisions du secteur privé peuvent également être collectives, en témoignent les choix pris par un conseil d'administration ou par un ensemble d'actionnaires d'une entreprise par exemple. Les illustrations précédentes ne sont pas nouvelles et ne sont pas spécifiques aux secteurs de la mobilité urbaine et de l'environnement. Aussi, la théorie du vote a permis d'élaborer des solutions aux problèmes de choix collectifs par le biais d'une littérature abondante sur la question (Borda, 1781; Condorcet, 1785; Arrow, 1951; Black, 1958; Coombs, 1964; Sen, 1969; Harsanyi, 1986; Schulze, 2010; Mueller *et al.*, 2010). Par conséquent, cette littérature ne sera que très peu abordée dans ce mémoire²⁸ et nous avons plutôt choisi de nous intéresser aux travaux préparatoires avant le vote, c'est-à-dire au moment de fabrication de la décision. Deux cas sont alors envisageables, selon le nombre d'options de décision qui sont à l'étude :

- (a) Dans le premier cas, le collège de décideurs examine plus de deux options « concurrentes » pour satisfaire un objectif d'amélioration de la qualité de l'air, à titre d'exemple. En fonction des souhaits de chacun de ces décideurs, il existe alors une probabilité de se trouver dans un cas similaire à celui du « paradoxe de Condorcet (1785) », qui met en défaut l'hypothèse de transitivité des préférences de l'ensemble des décideurs.
- (b) Dans le second cas, le collège de décideurs choisit plutôt d'examiner les options une par une, c'est-à-dire en comparant chaque option avec un « scénario de référence », qui représente les tendances et l'évolution du territoire si aucune option n'est choisie. Ce cas se ramène alors à une succession de comparaisons de deux options.

28. Dans le but de situer l'outil CoBAYe dans le panorama existant des outils d'aide à la décision collective, la section 1.3 donne un aperçu des discussions qui ont eu lieu sur le problème de l'agrégation des préférences individuelles pour une décision collective. Toutefois, l'objectif de la thèse n'est pas de proposer une contribution théorique à cette discussion, mais plutôt d'utiliser ses résultats pour construire théoriquement un outil participatif d'aide à la décision, qui puisse également être aisément appliqué pour l'évaluation de décisions systémiques sur un territoire donné.

Nous faisons l'hypothèse que, dans la construction d'une option de décision, étape antérieure au vote, le collège de décideurs se trouve dans le deuxième cas, c'est-à-dire qu'il choisit d'examiner uniquement les conséquences de la mise en œuvre de cette option par rapport à ce qui se passerait si aucune option n'est choisie. Avec cette hypothèse, l'étape de comparaison de toutes les options de décision possibles n'intervient alors que dans un second temps. En particulier, ces deux cas sont discutés au Chapitre 7 (et notamment en section 7.6).

L'étape d'aide à la décision à laquelle nous nous intéressons se situe donc à cheval entre l'étape de construction de l'option de décision et celle d'identification de ses conséquences. Ainsi, comme dans le cas de l'analyse coûts-bénéfices, CoBAYe compare deux scénarios : le scénario de référence et un scénario de projet, avant une comparaison avec les autres options de décision à étudier. En revanche, contrairement à la CBA, la démarche proposée repose sur la construction de ce scénario de projet au moyen d'un processus de concertation participatif réunissant le décideur et les acteurs concernés par la décision. Ce processus de décision permet alors de tenir compte, autant que possible, des effets d'interdépendance résultant de leur interaction et, également, de l'incertitude ressentie sur l'occurrence et l'ampleur de ces effets.

Afin de présenter l'outil d'aide à la décision CoBAYe, nous avons choisi de structurer ce mémoire en trois Parties :

- (I) La Partie I expose les pré-requis nécessaires pour comprendre la construction de cet outil, en s'attachant en particulier à identifier les limites de l'analyse coûts-bénéfices comme outil d'aide à la décision pour l'analyse de politiques systémiques et, par conséquent, la nécessité de faire appel à un autre outil. Ainsi, après avoir défini les enjeux de l'aide à la décision (Chapitre 1), nous mettons en évidence les limites de la CBA, à la fois au sein de ses fondements théoriques et dans son utilisation pratique (Chapitres 2 et 3).
- (II) La Partie II développe alors les étapes de construction de l'outil CoBAYe, en s'appuyant sur les limites identifiées dans la Partie I, pour tenter d'en proposer une réponse. L'accent est ainsi mis sur les fondements théoriques (Chapitres 4 et 5) de l'outil CoBAYe avant d'en proposer une représentation formalisée (Chapitre 6).
- (III) Enfin, la Partie III est la mise en œuvre pratique de l'outil d'aide à la décision CoBAYe sur des politiques de mobilité et d'amélioration de la qualité de l'air à la Ville de Paris.

Après avoir fourni un manuel d'utilisation de l'outil (Chapitre 7), nous l'illustrons par un test réel réalisé en juin 2013 (Chapitre 8) ainsi que par deux applications sur des politiques d'amélioration de la qualité de l'air à Paris (Chapitres 9 et 10). En particulier, un exemple d'illustration de ce que pourrait donner une application de l'outil CoBAYe pour étudier la faisabilité d'une ZCR est exposé au Chapitre 10.

Ce mémoire s'articule donc en dix chapitres, répartis en ces trois parties. De façon plus détaillée :

1. Le **Chapitre 1** expose les pré-requis nécessaires à la compréhension de la finalité de l'aide à la décision et présente les fondements théoriques qui ont jalonné ses outils en économie, en passant de l'économie classique à l'économie expérimentale. Ainsi, après avoir présenté un aperçu historique des enjeux de l'aide à la décision, nous structurons ce Chapitre en trois sections supplémentaires, de manière à faire apparaître les problèmes auxquels doivent faire face analystes et décisionnaires :

- lorsqu'ils doivent pendre une décision collective (Condorcet, 1785; Arrow, 1951; Black, 1969; Sen, 1969)
- lorsque cette décision s'inscrit dans un registre *incertain* (Bernoulli, 1738; Von Neumann et Morgenstern, 1944; Savage, 1954), une fois après avoir fait la distinction entre risque et incertitude (Knight, 1921; Keynes, 1937)
- et, lorsque l'aide à la décision s'appuie sur des hypothèses d'indépendance et de rationalité parfaite (Allais, 1953b; Ellsberg, 1961). Des modèles ont alors été développés sous d'autres hypothèses, comme la rationalité procédurale de l'individu (Simon, 1955) ou la « théorie des perspectives » (Kahneman et Tversky, 1979).

En particulier, ce Chapitre 1 a également pour objectif de situer l'analyse coûts-bénéfices (qui sera discutée en détail aux Chapitres 2 et 3) et CoBAYe (dont la construction et la présentation font l'objet des Parties II et III) au sein de la famille des outils d'aide à la décision.

2. Le **Chapitre 2** s'intéresse, par conséquent, aux questionnements théoriques qui ont participé à la construction et à l'évolution de l'analyse coûts-bénéfices d'abord en France (Dupuit, 1844) puis aux Etats-Unis (Lave, 1996; Zerbe Jr., 1991; Sen, 2000b; Robinson et Hammitt,

2011). Ces débats théoriques sont alors structurés en questions qui correspondent aux étapes de réalisation de l'exercice :

- de qui faut-il tenir compte (Trumbull, 1990; Lave, 1996) ?
- quels effets envisager et comment les identifier (Sen, 1970a; Hornstein, 1993; Hansson, 2007) ?
- comment mesurer ces effets (Tversky *et al.*, 1982; Stiglitz, 1983; Hanemann, 1994; Sen, 2000b) ?
- et comment tenir compte de l'incertitude (Keeney et von Winterfeldt, 1986; Rascoff et Revesz, 2002) ?

Enfin, le Chapitre 2 sert également à identifier les freins théoriques à la réalisation pratique d'une analyse coûts-bénéfices, en vue de pouvoir les comparer avec les limites de l'utilisation de l'outil au Chapitre suivant.

3. En effet, le **Chapitre 3** a pour objectif d'identifier les limites de la pratique de la CBA, et de les comparer avec les freins théoriques mis en avant au Chapitre précédent. Pour cela, eu égard au nombre important d'analyses pratiquées depuis la « démocratisation » de l'exercice dans les années 1980 aux Etats-Unis, nous avons dû opérer un choix dont les critères se sont fondés sur les problématiques les plus proches du sujet d'étude dans cette thèse, ce qui a finalement permis de ne retenir que des CBA portant sur des politiques de mobilité et d'environnement au cours des vingt dernières années. Nous avons ensuite choisi une analyse en trois volets, du général au particulier :
 - (a) Une revue d'une cinquantaine de CBA en cherchant en particulier à identifier celles dont l'analyse n'était pas unisectorielle, celles qui avaient une approche dynamique de prise en considération des effets et celles dont la durée d'évaluation n'était pas déterminée en avance.
 - (b) Cette étape a mis en évidence des guides institutionnels méthodologiques de pédagogie pour réaliser une CBA et nous avons, par conséquent, cherché à les explorer en identifiant les typologies d'identification qu'ils préconisent et en les confrontant, pour en tirer des éventuelles améliorations dans la Partie II.
 - (c) Enfin, la première étape a également permis de recenser des CBA qui s'appuient sur ces guides méthodologiques et qui s'intéressent particulièrement à des politiques similaires,

dans leur fonctionnement, à la future ZCR parisienne. Ce dernier volet de notre analyse réalise donc une étude de cas critique de la construction de quatre CBA dont l'objectif respectif est l'évaluation de la mise en place d'une « *Low Emission Zone* » à Hong-Kong, du péage environnemental à Milan, du péage urbain à Stockholm et de la « *Low Emission Zone* » de Londres.

La mise en commun des résultats des Chapitres 2 et 3 a alors permis de mettre en évidence des limites dans la pratique de l'analyse coûts-bénéfices, qui ne sont pourtant pas reflétées dans les débats théoriques au sujet de la réalisation de cet exercice, parmi lesquelles :

- l'absence de prise en compte de l'interdépendance des marchés dans l'évaluation d'une décision systémique,
- la restriction fréquente à une analyse statique de la politique publique mise en œuvre, en ne s'intéressant pas à la propagation des effets par exemple,
- et le choix *a priori* de la durée d'évaluation de la politique étudiée, sans tenir compte de l'incertitude intrinsèque caractérisant l'occurrence et de l'ampleur des conséquences identifiées.

C'est la raison pour laquelle nous avons souhaité construire et proposer un nouvel outil d'aide la décision qui, à la fois, tiennent compte de ces limites et tente de les intégrer au processus de décision. La construction de l'outil CoBAYe (« *Cost-Benefit Analysis under Interdependence and uncertainty* ») fait donc l'objet de la Partie II, avant d'en présenter des exemples d'applications possibles dans la Partie III.

4. Le **Chapitre 4** explique la construction d'une typologie d'identification des *effets* d'une décision systémique, entendus comme les anticipations, actions et comportements d'acteurs concernés par la décision et mis en avant en réaction à sa mise en œuvre. Cette typologie marque la prise en considération de l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées due à la mise en œuvre d'une décision. Par conséquent, nous avons d'une part cherché à savoir s'il existait déjà de telles typologies et, d'autre part, trouvé des inspirations dans les modèles de représentation de l'économie et des jeux d'acteur. C'est

donc à travers ces deux approches que nous avons entrepris la construction de la typologie d'identification des effets d'interdépendance :

- (i) Le *Tableau économique* de Quesnay (1758), l'équilibre général de Walras (1874) et l'analyse input-output de Leontief (1937) ont été des sources d'inspiration de la typologie, notamment pour la définition des effets *indirects* et la nécessité d'avoir recours à des effets *induits*.
- (ii) Par ailleurs, nous avons également cherché parmi des exemples extraits de la théorie des jeux (Von Neumann et Morgenstern, 1944; Nash, 1951) appliqués à des situations entre acteurs concernés par une politique d'amélioration de la qualité de l'air, ainsi que parmi des méthodes existantes, telles que « la méthode des effets » (Grefe, 1997) ou les « *wider economic effects* » (Banister et Berechman, 2001), s'il existait des typologies qui permettaient de rendre compte de l'interaction entre différents agents économiques pour envisager ces jeux d'acteurs dans l'outil d'aide à la décision.

Ces deux approches ont donc permis de construire la typologie d'identification des effets d'une décision systémique, en s'intéressant aux effets *directs*, *indirects*, *induits* ainsi qu'aux « *opportunity benefits* », définis en section 4.6.

5. Une fois la décision mise en œuvre, le recours à cette typologie rend plus aisée l'identification de la propagation des effets. Cependant, comment savoir quand arrêter cette recherche des conséquences ? L'objet du **Chapitre 5** est en effet de mettre en évidence les raisons pour lesquelles, pour chaque effet identifié, il existe un horizon temporel au-delà duquel la poursuite de son évaluation n'est plus fiable : une incertitude apparaît sur l'ampleur voire sur l'occurrence même de l'effet identifié, cette incertitude grandit à mesure que le temps s'écoule et il existe un horizon temporel - caractérisé par exemple par l'aversion au risque du décideur - après lequel les projections réalisées par les agents économiques ne sont plus pertinentes. Cette incertitude, qui peut être de l'ordre de l'incertitude radicale (Keynes, 1937; Shackle, 1967), de l'incertitude psychologique « propre » à l'individu (Pratt, 1964; Arrow, 1965), de l'incertitude environnementale (Simon, 1955) ou encore de l'ordre de l'incertitude comportementale due à l'asymétrie informationnelle (March et Simon, 1958; Williamson, 1990), est alors prise en considération dans le processus d'aide à la décision CoBAYe, ce qui permet de définir une « règle d'arrêt » (Simon, 1955) pour l'évaluation.

6. Enfin, en tant que dernier Chapitre de la Partie II, le **Chapitre 6** a, quant à lui, un objectif double :

- D'une part, il propose une représentation des interdépendances entre acteurs par l'usage de graphes orientés, ce qui permet, en lien avec la typologie d'identification des effets présentée en section 4.6.2, de représenter graphiquement l'interaction entre les ressources d'un territoire et les acteurs qui le composent à une *période* donnée : cette représentation s'appelle la « *structure topo-économique* (STE) du territoire ». Cette STE est fondamentale dans l'outil CoBAYe car c'est elle qui permet une analyse dynamique de la propagation des effets d'une décision systémique.
- D'autre part, le Chapitre 6 propose également une formalisation de l'outil CoBAYe, de ses caractéristiques, de ses paramètres et de ses variables, dans le but de tester sa transparence et sa robustesse, ainsi que de donner la possibilité au décideur d'une utilisation *ex-ante* et prospective de l'outil.

Ainsi, à travers ces trois Chapitres, la Partie II contribue à poser les fondements théoriques et à construire l'outil CoBAYe, qui répond aux limites mises en évidence dans la Partie I et relatives à la différence entre la théorie et la pratique de l'analyse coûts-bénéfices. La Partie III a, par conséquent, pour objectif de tester si l'utilisation de cet outil CoBAYe est plus efficace que la CBA pour l'analyse de politiques systémiques.

7. Pour cela, le **Chapitre 7**, premier chapitre de la Partie III, agit comme un manuel d'utilisation de l'outil d'aide à la décision CoBAYe. Cet outil est constitué de deux éléments :

- (i) La *méthode CoBAYe*, qui est constituée des résultats des Chapitres théoriques de la Partie II, c'est-à-dire :
 - la typologie d'identification des effets *directs*, *indirects*, *induits* et des « *opportunity benefits* » de la décision à l'étude,
 - la représentation de la configuration économique et territoriale dans laquelle évoluent les acteurs et leurs interactions, à travers la *structure topo-économique* du territoire, qui permet une analyse de la propagation de ces effets,

— et la prise en considération des différentes sources d’incertitude qui caractérisent les effets de la décision identifiés, et dont l’intégration endogène à la prise de décision permet une « règle d’arrêt » de l’évaluation de chaque effet.

(ii) Le *processus de décision CoBAYe*, qui est la mise en œuvre concertée et collaborative de la *méthode CoBAYe* par le décideur et des acteurs concernés par la décision, volontaires pour participer à son processus de construction.

En particulier, ce Chapitre a une visée opérationnelle pour fournir les éléments clefs à quiconque voudrait utiliser l’outil CoBAYe.

8. En conséquence, le **Chapitre 8** expose les résultats d’un test de l’outil CoBAYe selon les préconisations du Chapitre 7, pour des politiques systémiques d’amélioration de la qualité de l’air en agissant sur la mobilité, imaginées sur le territoire de la Ville de Paris. Ce test, réalisé en conditions réelles à l’occasion d’un atelier de travail organisé par l’Agence de la Mobilité²⁹ de la Ville de Paris, à mi-parcours de la réalisation de cette thèse, a par conséquent permis de mettre en évidence les éléments à conserver ou à modifier pour la construction à terme de l’outil CoBAYe. Ce Chapitre présente donc les enseignements tirés du test de l’outil CoBAYe lors de son utilisation à la Mairie de Paris en juin 2013 pour des scénarios de prospective de mobilité durable.
9. Le **Chapitre 9**, au même titre que le Chapitre 10 est, quant à lui, une illustration d’une application possible de l’outil CoBAYe. Il s’intéresse en particulier à l’évaluation *ex-ante* de la création d’un réseau infrastructurel de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris. En tant qu’illustration, ce Chapitre suit donc le manuel d’utilisation proposé au Chapitre 7 avec :
 - la définition d’un scénario de référence,
 - la définition d’un scénario de projet et des hypothèses retenues,
 - les résultats de l’identification des effets de cette politique, représentés graphiquement par une *frise des effets*,
 - une discussion sur la dynamique de ces interactions, mettant d’une part en évidence un détail de chaque effet et, d’autre part, caractérisant les interdépendances entre les

29. L’Agence de la Mobilité est une des agences de la Direction de la Voirie et des Déplacements, services techniques de la Ville de Paris, dont la compétence sur les sujets de voirie et de mobilité urbaines contribue entre autres à alimenter les études soumises à l’adjoint au Maire de la Ville de Paris, sur la problématique des transports.

acteurs et leurs stratégies en fonction de l'évolution de la structure topo-économique du territoire parisien,

— et, enfin, une discussion des résultats en faisant apparaître un exemple illustratif de valorisation monétaire de ces effets.

10. Enfin, le **Chapitre 10** constitue également une application éventuelle de l'outil CoBAYe, et répond à l'Introduction Générale. En effet, ce dernier Chapitre propose un exemple illustratif d'évaluation de la mise en place progressive d'une « Zone à Circulation Restreinte » sur le territoire parisien à partir de juillet 2015. Les étapes essentielles de la réalisation de l'exercice sont présentées, comme dans le cas du Chapitre 9, c'est-à-dire le scénario de référence, le scénario de projet, la *frise des effets* et la discussion au sujet de la dynamique des interactions, examinée à l'aune de l'évolution des structures topo-économiques du territoire parisien. Afin de mettre en évidence des résultats différents du « *Net Social Benefit* » ou de la valorisation monétaire, exposés au Chapitre précédent, nous avons choisi de varier les analyses « en aval », c'est-à-dire que nous présentons au lecteur non pas une interprétation des résultats au moyen de valeurs monétaires, mais plutôt grâce à une analyse statique et dynamique du rôle de certains des acteurs clefs de la mise en œuvre de la ZCR.

Ce Chapitre clôt donc la Partie III de la thèse, dont le but a été de présenter des exemples d'utilisation de l'outil CoBAYe pour l'évaluation de politiques publiques de mobilité et d'amélioration de la qualité de l'air. Cet outil peut bien sûr également être utilisé pour l'évaluation de politiques publiques différentes, d'environnement ou d'énergie par exemple et, de façon plus générale, CoBAYe est un outil d'aide à la décision approprié pour l'évaluation de décisions systémiques - publiques ou privées - lorsque le décideur souhaite s'entourer d'acteurs différents, au cours d'un processus de décision concerté et participatif, pour pouvoir mieux identifier les effets d'interdépendance qui pourraient être engendrés par l'interaction de ces acteurs dans un registre incertain et au sein d'un territoire donné.

Première partie

Les limites de l'analyse coûts-bénéfices (CBA) comme outil d'aide à la décision pour l'évaluation de politiques systémiques

Introduction de la première partie

Cette première partie a pour but de présenter, du plus général au plus particulier, certains des éléments théoriques de l'aide à la décision, qui seront nécessaires pour l'explication de la construction de l'outil d'aide à la décision CoBAYe, en Partie II. Pour cela, elle peut être divisée en deux :

1. Le Chapitre 1 donne un aperçu succinct des éléments théoriques généraux de l'aide à la décision avec une volonté pédagogique, d'abord à travers un historique de la construction des modèles d'aide à la décision et, ensuite, *via* des sections plus spécifiques aux théorèmes de la décision collective, en situation d'incertitude, et des modèles qui en ont découlé.
2. Les Chapitres 2 et 3, quant à eux, sont plus spécifiques à une technique d'aide à la décision particulière, l'analyse coûts-bénéfices, largement utilisée pour les évaluations économiques *ex-ante* des décisions publiques, en particulier celles qui concernent la mobilité et l'amélioration de la qualité de l'air. C'est en particulier la mise en parallèle de ces deux chapitres qui a permis de mettre en évidence :
 - d'une part, des limites de l'utilisation de cet outil dans le cas de décisions systémiques et,
 - d'autre part, la nécessité d'avoir recours à autre outil, dont la construction est proposée dans la Partie II.

La structure de la Partie I de ce mémoire s'articule donc de la façon suivante :

1. Une présentation succincte des concepts clés de la théorie de la décision dans le Chapitre 1, utiles pour la compréhension du cadre dans lequel s'inscrit la construction de l'outil d'aide à

la décision CoBAYe. Ce chapitre est lui-même structuré en sections indépendantes, chacune étant relative à un domaine particulier de la discipline :

- le problème de la décision collective, c'est-à-dire l'agrégation des préférences individuelles,
- le problème de la décision en situation d'incertitude, lorsqu'on ne connaît pas tous les états possibles, et
- le problème des modèles d'aide à la décision, fondés sur l'utilisation des hypothèses d'indépendance et de rationalité parfaite.

Cette discussion permet alors en particulier de situer la CBA et CoBAYe dans le panorama existant des outils d'aide à la décision collective en situation d'incertitude.

2. Une discussion sur les concepts théoriques, et majoritairement implicites, de l'utilisation de l'analyse coûts-bénéfices (CBA), structurée de façon linéaire, c'est-à-dire en fonction des étapes de réalisation de l'exercice, de telle sorte que le lecteur puisse examiner pas à pas les principaux débats et questionnements qui ont eu lieu au cours des cinquante dernières années. Deux parties sont notamment mises en avant :
 - (i) les débats « en amont », c'est-à-dire ceux qui sont relatifs notamment aux concepts théoriques et aux hypothèses économiques dont se sont inspirés les économistes dans la discussion ;
 - (ii) et les questionnements « en aval », *i.e.* liés à l'attribution d'une valeur monétaire aux biens et services non-marchands, qui découlent eux-mêmes de l'identification des conséquences de la mesure étudiée par l'analyste.
3. Enfin, une étude de l'utilisation pratique de la CBA, menée en trois étapes, allant du général au particulier :
 - (i) l'examen de plus d'une cinquantaine de CBA qui avaient pour but l'évaluation économique de politiques publiques de mobilité ou d'amélioration de l'environnement au cours des vingt dernières années ;
 - (ii) l'identification parmi celles-ci de quatre guides institutionnels destinés à proposer une méthodologie pour la réalisation de CBA, et pour lesquels nous avons proposé une analyse critique destinée à positionner CoBAYe par rapport à la CBA ;
 - (iii) une analyse plus affinée sur quatre décisions publiques d'amélioration de la qualité de l'air dont les moyens utilisés ciblent la mobilité des voyageurs et des marchandises.

Ces quatre évaluations économiques de politiques publiques, réalisées au sujet de Hong-Kong, Milan, Stockholm et Londres peuvent d'ailleurs être perçues comme des exemples d'une future mise en œuvre d'une « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) à Paris.

Chapitre 1

L'aide à la décision : finalités et problèmes

1.1 Introduction

Les économistes ont développé des théories mathématiques pour essayer d'interpréter comment les individus font leurs choix parmi des événements souhaitables. Ces théories sont notamment centrées sur les notions de valeur subjective, d'utilité ou d'options parmi lesquelles le décideur peut choisir. En particulier, dans la majorité des modèles, ils font l'hypothèse que les individus agissent rationnellement, c'est-à-dire que leurs choix sont transitifs et qu'ils prennent leurs décisions de sorte à maximiser leur utilité ou leur utilité espérée.

Ce chapitre a pour but de donner au lectorat un bref aperçu de ces notions ainsi que des discussions qui ont eu lieu pour s'en démarquer, à travers une présentation en quatre points :

- la section 1.2 présente un aperçu historique et général de la théorie de l'aide à la décision ;
- la section 1.3 permet quant à elle de fournir au lecteur une présentation de certaines des différentes théories économiques qui justifient et caractérisent l'usage de cette discipline dans la décision collective ;
- la section 1.4 consiste en un rappel historique de la distinction entre les notions de *risque* et *d'incertitude* et propose un exemple de modèle tenant compte d'une situation risquée ;

- enfin, la section 1.5 expose les hypothèses théoriques des modèles d'aide à la décision qui ne suivent pas le courant classique, et qui seront mobilisées dans la Partie II pour la construction de CoBAYe.

1.2 Les méthodes d'aide à la décision : finalités, histoire et typologie

1.2.1 Pourquoi aider à la décision ?

Les méthodes d'aide à la décision sont multiples et peuvent mettre en relation des disciplines *a priori* très différentes¹. Toutefois, des points communs existent, notamment leur approche « formelle » et « abstraite » (Tsoukias, 2006), qui n'est pas sans entraîner quelques inconvénients, à savoir :

- une méthode formelle et abstraite est beaucoup moins efficace si on la compare à la méthode de communication naturelle ;
- elle a toujours un coût, parfois non-monétaire ;
- la réduction de l'ambiguïté peut, dans certains cas, être indésirable ;
- la méthode peut parfois nuire à la créativité de l'esprit humain.

Cependant, cette approche présente également plusieurs avantages qui peuvent avoir leur importance dans certaines situations (Bouyssou, 2000) :

- elle permet à tous ceux qui participent au processus de décision de parler le même langage, ce qui, *a priori*, augmente la transparence du processus et la participation (Bana E Costa *et al.*, 2001) ;
- elle permet d'identifier des structures sous-jacentes aux problèmes traités et permet donc éventuellement de réutiliser ces structures (Vallin et Vanderpooten, 2000) ;

1. Plusieurs auteurs ont déjà écrit un aperçu de la théorie de la décision et de l'aide à la décision. Toutefois, ils sont très majoritairement sectoriels ou n'appréhendent la théorie que selon une seule discipline et n'englobent pas la théorie ni dans son ensemble ni dans une perspective historique. Or nous avons souhaité présenter en première section de ce manuscrit un aperçu général de l'aide à la décision sans être restreint par une discipline, afin de montrer au lecteur que le spectre de l'aide à la décision est extrêmement large et qu'il ne peut pas (ni ne doit pas) se restreindre à la seule analyse coûts-bénéfices, qui sera largement développée ci-après (Chapitres 2 et 3). Pour cette raison, cette section est largement adaptée de Tsoukias (2006), dont le travail très réussi adopte un cadre à la fois général et historique.

- elle évite les biais de raisonnement humain dus à la tradition et à l'éducation (Rivett, 1994) ;
- enfin, elle évite les erreurs associées à l'utilisation informelle de méthodes formelles (Tsoukias, 2006).

En d'autres termes, une approche formelle et abstraite permet de mieux analyser, comprendre, expliquer ou justifier un problème et une de ses solutions.

1.2.2 L'aide à la décision au cours du temps

Genèse et jeunesse

On peut associer les origines de l'aide à la décision au *XVIII^{ème}* siècle, pendant lequel les problèmes liés à la prise de décision par les personnes, les organisations ou les institutions avaient déjà occupé les scientifiques et les gestionnaires, par exemple Euler (1736) sur les problèmes combinatoires, Bernoulli (1738) sur la probabilité, ou Borda (1781) et Condorcet (1785) sur les problèmes de décision collective. Plus tard, le début du *XX^{ème}* siècle connut une nouvelle vague de progrès dans les techniques, avec notamment Pareto (1906) sur les problèmes économiques à décisions multiples, Taylor (1911) et Fayol (1949) sur la gestion scientifique des entreprises, Ramsey (1931), Kolmogorov (1950) et De Finetti (1936, 1937) sur la théorie de la probabilité, et Turing (1937) sur la décidabilité, pour lesquels le concept de décision est central.

Néanmoins, l'essor le plus important de l'aide à la décision a sans doute eu lieu juste avant la seconde guerre mondiale, notamment à l'occasion des études menées par l'armée britannique pour étudier l'installation des systèmes radar et des efforts du décodage du code secret des communications allemandes (1936-1937). Elles correspondent d'ailleurs à la première occurrence de la « recherche opérationnelle »² (Kirby, 2002; Bowen, 2004), c'est-à-dire la technique qui a permis d'organiser les activités militaires des alliés et qui a confirmé l'idée que la prise de décision est un phénomène qui peut être étudié de façon scientifique et que des modèles généraux sont concevables. Ainsi, entre la fin des années 1940 et le début des années 1950 vont naître plusieurs contributions fondamentales : la programmation linéaire (Kantorovich, 1939; Dantzig,

2. « *Operational research* » en anglais

1948), la théorie de la décision et la théorie des jeux (Von Neumann et Morgenstern, 1944; Nash, 1950c, 1951) ou encore l’algorithmique et l’existence de machines capables de résoudre « tout problème » (Turing, 1950). C’est aussi à cette époque que les premières sociétés savantes de recherche opérationnelle (1948 en Angleterre et 1950 aux États-Unis) et les premières revues du domaine (Blackett, 1950) vont voir le jour et que vont apparaître les premières sociétés privées en « aide à la décision »³; la plus célèbre étant sans doute la *Rand*⁴, dans laquelle la recherche opérationnelle s’est développée en science appliquée aux problèmes de la nouvelle industrialisation de l’après-guerre, notamment aux États-Unis.

Ces premiers travaux et expériences sont caractérisés par la recherche de structures formelles sous-jacentes aux problèmes concrets et par l’utilisation de la mathématique et de la logique comme langage de modélisation. Les premiers pas dans cette direction vont renforcer l’idée que des problèmes complexes de décision sont modélisables à travers l’imposition d’un modèle de rationalité simple, à savoir la maximisation d’une fonction d’utilité exprimant les préférences du décideur, l’optimisation de cette fonction apportant la solution du problème de décision. Les travaux de Von Neumann et Morgenstern (1944) et de Nash (1950c) montrent exactement sous quelles conditions ces fonctions et ces solutions existent. Par ailleurs, l’algorithme de programmation linéaire développé par Dantzig (1948)⁵ apporte les outils nécessaires pour la résolution de problèmes, même de grande taille. Enfin, Turing (1950), mais aussi Wiener (1948) et Ashby (1956) vont aller plus loin en proposant une théorie de résolution générale des problèmes.

Cependant, à cette même période commencent à paraître des travaux qui critiquent cet édifice et le paradigme associé. Ainsi Arrow (1951) publie son célèbre théorème d’impossibilité, montrant que l’agrégation des préférences d’individus rationnels, sous des conditions réputées naturelles (souveraineté des citoyens, universalité, indépendance, respect de l’unanimité, non-existence du dictateur), est impossible si le résultat doit continuer à satisfaire la condition d’ordre complet (voir la section 1.3.3). Ce théorème va d’une part conclure la discussion ouverte avec

3. Le terme n’était pas utilisé à l’époque.

4. La *RAND Corporation*, fondée en 1945, est une institution américaine à but non lucratif qui a pour objectif d’améliorer la politique et le processus décisionnel par la recherche et l’analyse. Aujourd’hui, La *RAND Corp*, basée en Californie, est considérée comme un laboratoire d’idées américain selon leurs propres termes (www.rand.org).

5. L’algorithme du simplexe introduit par Dantzig est un algorithme de résolution des problèmes d’optimisation linéaire. Il s’agit probablement du premier algorithme qui permet de minimiser une fonction sur un ensemble défini par des inégalités et a, par conséquent, beaucoup contribué au démarrage de l’optimisation numérique.

les contributions de Borda et de Condorcet au *XVIII^{ème}* siècle au sens où il prouve qu'il n'y a aucune procédure d'agrégation des préférences universelle (Vincke, 1982; Bouyssou, 1992) et va d'autre part ouvrir la voie à une littérature immense sur la théorie du choix social (Sen, 1970a; Kelly, 1991; Taylor, 1995; Nurmi, 1999).

En 1953, Allais (1953b) présente son célèbre paradoxe qui montre comment les axiomes introduits par Von Neumann et Morgenstern (1944) comme conditions nécessaires pour l'existence d'une fonction d'utilité et pour exhiber un comportement rationnel sont systématiquement violés par le comportement réel des décideurs confrontés à des choix très simples (voir la section 1.5.2). Cette falsification empirique de la théorie de l'utilité espérée va elle-même ouvrir une autre voie de recherche, liée à l'étude des sciences cognitives (Allais et Hagen, 1979).

Au milieu du *XIX^{ème}* siècle déjà, Simon (1947) commence à observer les processus de décision dans les organisations et remarque que le comportement réel de décideurs est loin d'être représentable par les postulats de la théorie de la décision, au moins sous la forme qu'elle a à ce moment-là. Pendant les années 1950, Simon développe sa théorie de la « rationalité limitée » (Simon, 1955, 1957) selon laquelle un décideur confronté à un problème de choix se comportera toujours selon un critère de « satisfaction », au sens où il choisira la première solution trouvée qui « satisfait » ses besoins ; il ne choisira pas selon un critère d'optimisation idéal, irréaliste et inutilisable (voir section 1.5.1). En effet, Simon considère que la théorie de la décision fait trois hypothèses implicites (Moscarola, 1984) :

1. les décideurs connaissent bien leur problème ;
2. ce problème est toujours représentable comme un problème d'efficacité ;
3. l'information et les ressources nécessaires pour trouver une solution sont toujours disponibles.

En revanche, Simon affirme également qu'aucune de ces hypothèses n'est validée dans la vie réelle :

1. les décideurs n'ont jamais une idée très claire de leur problème ;
2. les problèmes de décision se présentent souvent comme la recherche d'un compromis ;
3. la solution d'un problème est soumise à des contraintes temporelles et de ressources disponibles.

L'innovation introduite par Simon est capitale. Les approches de la théorie de la décision développées jusqu'à ce moment se basent sur l'hypothèse que le modèle de rationalité existe indépendamment du décideur et du processus de décision. Simon met au centre de sa réflexion le processus de décision (les activités mentales qu'un décideur doit effectuer pour prendre une décision) et postule que le modèle de rationalité doit être recherché dans ce processus et pas à l'extérieur. En effet, une hypothèse de « rationalité externe » est compatible avec un modèle d'optimisation - cela ne pose aucun problème ; il n'en va pas de même dans l'hypothèse d'un modèle défini de façon subjective.

Les travaux de Simon vont ouvrir plusieurs pistes de recherche orientées à la fois vers la création de nouvelles approches d'aide à la décision (Le Moigne, 1977) et vers ce qui sera connu ensuite sous le nom d'« intelligence artificielle » (Simon, 1969). L'idée de recherche d'une solution satisfaisante va d'ailleurs trouver une correspondance immédiate dans le problème de trouver un compromis acceptable dans une décision en présence de critères multiples (Vincke, 1992).

Les années 1950 et 1960 vont connaître la multiplication des recherches, des cours universitaires et des applications dans des domaines très différents. Les grands clients des études de recherche opérationnelle et d'aide à la décision sont les entreprises qui administrent des réseaux (distributeurs d'eau, télécommunications, chemins de fer, compagnies aériennes). En parallèle, de nombreuses entreprises spécialisées en aide à la décision apparaissent. Enfin, durant ces années s'opère la reconstruction d'après-guerre, qui va voir la mise en mouvement de formidables ressources pour la résolution de problèmes, formidables eux aussi. Ainsi, c'est pendant cette période que commencent à se développer les approches critiques du paradigme dominant de la théorie de la décision, dont les précurseurs sont Koopman (1956) et Ackoff (1962) par exemple.

Au début des années 1960 paraît le célèbre article de Zadeh (1965) sur les ensembles flous : celui-ci va introduire une nouvelle perspective dans le traitement de l'incertitude, de l'ambiguïté et des variables linguistiques. L'innovation de Zadeh aura un impact majeur dans le futur de la discipline puisqu'elle concerne une partie fondamentale du langage formel : la théorie des ensembles. L'extension du concept d'ensemble avec l'introduction du concept de « fonction d'appartenance », une « mesure » de l'appartenance d'un élément à un ensemble, va permettre

d'augmenter l'expressivité et la flexibilité des langages formels et, par conséquent, des modèles d'aide à la décision.

Les sciences cognitives et la psychologie

Un autre domaine qui va apporter des contributions majeures au développement de la théorie de la décision et aux approches alternatives est celui des sciences cognitives et de la psychologie (Edwards, 1954; Festinger, 1964). L'intuition d'Allais dans les années 1950 de valider expérimentalement les axiomes de la théorie de la décision a donné suite à plusieurs travaux dans la même lignée. Nous voulons signaler ici en particulier les travaux de Tversky qui vont mettre en évidence le fait que les idées intuitives sur les propriétés des relations de préférence sont plus une exigence de la théorie qu'un comportement des décideurs réels (Tversky, 1969, 1977a). Celui-ci démontre que la relation de préférence peut bien exhiber des intransitivités (Tversky, 1969) et que la relation d'indifférence (ou de similarité) peut bien ne pas être symétrique (Tversky, 1977a).

Tous ces travaux mettent clairement en évidence la nécessité d'une étude plus approfondie des structures de base utilisées dans la construction de modèles d'aide à la décision, notamment les relations de préférence (Luce, 1956) et les fonctions qui doivent « mesurer » la préférence, comme les fonctions de valeur ou d'utilité (Fishburn, 1970; Krantz *et al.*, 1971) par exemple.

Toujours dans le cadre de l'influence des études psychologiques, il ne faut pas négliger l'apparition, dans les années 1960, du courant de la psychologie « relationnelle » fondée sur une approche définie par des auteurs comme « constructive » (Watzlawick *et al.*, 1967; Bateson, 1972). Dans cette approche est mise en évidence l'importance de la formulation des problèmes et de la relation entre celui qui demande une aide et celui qui l'apporte (le patient et le thérapeute dans leur terminologie). Surtout, cette approche met en évidence le fait que les problèmes ne sont pas les données d'un processus de décision : le processus suivi pour définir et pour résoudre un problème est le même. Dans cette perspective, la solution est une construction et non pas le résultat d'une recherche dans un espace donné.

La théorie de la complexité des algorithmes

En revenant sur les aspects plus formels de la recherche opérationnelle et de l'aide à la décision, il faut mentionner que pendant les années 1960 commence à se développer la théorie de la complexité des algorithmes. Hartmanis et Stearns (1965) sont les premiers à poser le problème sous la forme connue aujourd'hui et, sur cette base, Garey et Johnson (1979) compilent leur « encyclopédie » des problèmes NP-difficiles (Papadimitriou et Steiglitz, 1982). Les travaux sur la complexité ouvrent un problème non-négligeable. Ainsi, plusieurs algorithmes utilisés pour résoudre des problèmes classiques de la recherche opérationnelle (entre autres) sont inutilisables dans la pratique car, en présence d'instances de grande taille, le temps nécessaire pour arriver à la solution optimale peut être énorme, indépendamment de l'ordinateur utilisé. Mentionnons comme exemple la satisfaction d'une formule logique avec le célèbre problème du voyageur de commerce (Morton et Land (1955) et surtout Little *et al.* (1963) qui vont introduire un des types d'algorithmes les plus utilisés en optimisation combinatoire : les procédures *Branch and Bound*). La recherche d'une solution optimale, au-delà de ses implications cognitives, théoriques ou épistémologiques, se heurte à un problème d'applicabilité dans la pratique.

L'intelligence artificielle

Le programme de l'intelligence artificielle (Nilsson, 1971) orienté vers la création de « machines pensantes » et l'établissement de procédures générales de résolution des problèmes prend appui sur les travaux de Newell et Simon (1963). L'idée de la recherche d'une solution « satisfaisante » est une réponse au problème des ressources nécessaires pour arriver à une conclusion dans un processus de décision quelconque. La question est reprise dans une formulation « logique » par McCarthy et Hayes (1969), qui ouvrent la voie à ce que nous appelons aujourd'hui « raisonnement non monotone », ainsi que par Minsky (1975), qui propose de nouvelles techniques orientées vers la représentation des connaissances.

L'existence de plusieurs critères de décision concomitants et l'analyse multi-critères

Enfin, pendant les années 1960 paraissent les premiers travaux liés à un problème très pratique : l'existence de plusieurs critères de décision, éventuellement en conflit entre eux. Il s'agit d'une solution qu'en réalité on trouve pratiquement dans toutes les situations décisionnelles. C'est

seulement la volonté (et parfois la nécessité) de simplifier qui a poussé les chercheurs (et les professionnels) à étudier les problèmes en utilisant un critère de décision unique. En effet, Charnes *et al.* (1955) proposent le « *Goal Programming* », dont les travaux sont repris par Charnes et Cooper (1961) et donnent naissance à une approche connue aujourd’hui sous le nom de « programmation multiobjectif » (Shepard, 1964). Par la suite, en 1966 déjà, puis en 1968, Bernard Roy présente ses idées sur l’aide à la décision (Benayoun *et al.*, 1966; Roy, 1968) : il ouvre la voie à une autre approche, celle des « méthodes basées sur les relations de surclassement ». Raiffa (1969), quant à lui, produit son rapport Rand pour ce type de problèmes de décision. En 1972 a lieu la première conférence internationale en ce domaine (Cochrane et Zeleny, 1973) et, plus tard, Keeney et Raiffa (1976) publient leur ouvrage de référence qui étend la théorie de l’utilité en présence de critères multiples.

Le problème de la présence de plusieurs critères pose une question fondamentale. Le concept d’optimum vectoriel n’existe pas ou n’est pas définissable en termes purement mathématiques. La seule définition « objective » que nous puissions introduire est celle de la solution efficace (Pareto, 1906). Une solution est dite *efficace* s’il n’y a pas d’autres solutions qui sont au moins aussi bonnes qu’elle sur tous les critères et strictement meilleures sur au moins un critère (voir section 2.2.1). Le problème est que l’ensemble des solutions efficaces peut être extrêmement grand et donc inutilisable si l’on doit identifier une solution à choisir. Techniquement, les différentes méthodes se distinguent par la technique utilisée pour explorer cet ensemble et trouver le meilleur compromis (concept d’ailleurs sans définition mathématique précise). D’une part, on trouve les approches fondées sur la définition d’une fonction qui agrège les différents critères en un seul, ce qui, en pratique, ramène le problème à un problème d’optimisation classique. D’autre part, dans les autres approches, l’ensemble des critères est vu comme un ensemble d’individus exprimant des préférences et l’on utilise les méthodes de la théorie du choix social (comme les procédures de vote) pour obtenir une relation de préférence globale, représentative de l’ensemble des critères ; la théorie des graphes est enfin invoquée pour obtenir une solution finale (à partir de la préférence globale qui est un graphe)⁶.

6. La section 7.6 développe quelque peu ce point, en particulier pour l’outil CoBAYe, présenté dans ce mémoire.

À la fin des années 1960 et au début des années 1970, la recherche opérationnelle et la théorie de la décision se trouvent à un point de développement intense tant du point de vue scientifique que professionnel. Cependant, cette croissance a, entretemps, permis le développement d'approches critiques du paradigme dominant ; celles-ci vont occuper l'avant de la scène pendant la période suivante.

La phase de maturité

La phase de maturité (Bouyssou *et al.*, 1993) de l'aide à la décision se situe autour de la fin des années 1970 : on observe alors une spécialisation selon au moins quatre axes, à savoir

- la structuration et la formulation des problèmes de décision ;
- l'apport des sciences cognitives ;
- le traitement de l'incertitude probabiliste ;
- et l'aide multicritère à la décision.

La structuration et la formulation des problèmes de décision. Dans la théorie de la décision classique, un problème de décision est formulé de façon unique. Il s'agit toujours de maximiser la valeur d'une fonction sur les conséquences des actions potentielles. Il n'y a pas d'alternative à cette formulation du problème et le décideur doit adapter son information et sa perception du problème aux axiomes de la théorie. L'idée de base des nouvelles approches est, au contraire, que la partie la plus importante, dans un processus d'aide à la décision, est précisément la structuration et la formulation du problème de décision. Il s'agit d'idées déjà mises en pratique par les psychologues (Watzlawick *et al.*, 1974). Dans cette approche, l'attention est focalisée sur les interactions entre le ou les décideurs et l'équipe d'étude. Diverses techniques sont proposées pour arriver à construire une représentation de la situation problématique qui recueille le consensus de tous les participants (Landry, 1995; Banville *et al.*, 1998). Ces approches suggèrent qu'une fois que le décideur a compris son problème, la recherche de la solution devient secondaire et en tout cas « simple ». Peu d'attention est en tout cas portée à la formalisation mathématique (ce qui suscitera quelques critiques). Il demeure indéniable que structurer et formuler un problème de décision est une question cruciale dans l'aide à la décision comme plusieurs expériences pratiques l'ont montré (Rosenhead, 1989; Bana E Costa *et al.*, 1999).

L'apport des sciences cognitives. La théorie de la décision a été critiquée en particulier sur une base cognitive. Des expériences - conduites essentiellement en laboratoire - ont montré que les « décideurs » ne se comportent pas selon les axiomes de la théorie de la décision. Ces expériences ont également montré que la façon de formuler un problème de décision influence le comportement du décideur. Par exemple, demander de choisir entre deux alternatives donne lieu à des comportements différents selon que ces alternatives entraînent des gains ou des pertes. Le contexte cognitif en général a une influence fondamentale sur le décideur (Kahneman et Tversky, 1979; Tversky et Kahneman, 1981).

Une première tentative de répondre à ces problèmes théoriques et pratiques a été d'étendre la théorie de l'utilité en utilisant des « coefficients de croyance » qui tiennent compte du contexte cognitif. Il s'agit de la théorie connue sous le nom de « *Prospect Theory* » (Kahneman et Tversky, 1979)⁷. Si son axiomatisation complète est encore à achever (Wakker et Tversky, 1993), elle a ouvert un axe de recherche fécond (Luce et von Winterfeldt, 1994; Gilboa et Schmeidler, 2001; Kahneman, 2003).

Une deuxième tentative a été développée dans le même temps avec l'objectif d'identifier des « stratégies décisionnelles » que les décideurs utilisent dans des situations problématiques. Tversky (1972) avait déjà observé des comportements de ce type. Il s'agit chaque fois d'identifier des régularités dans le comportement des décideurs comme l'élimination progressive d'alternatives ou la recherche des structures de dominance. Un panorama de cette approche est présenté par Svenson (1996) et par Barthélemy *et al.* (2002). L'apport fondamental de ces deux tentatives est de mettre au centre de l'aide à la décision le décideur, son effort cognitif et le contexte de la décision. Il s'agit de la première focalisation sur le processus de décision (sur le décideur) et non pas sur la théorie de la décision⁸.

Le traitement de l'incertitude probabiliste. Une autre innovation majeure dans la théorie de la décision est la théorie des ensembles flous et la théorie des possibilités (Zadeh, 1978; Dubois et Prade, 1988). En particulier, l'introduction de la théorie des possibilités a permis l'utilisation

7. La théorie des perspectives est présentée plus en détail en section 1.5.3.

8. Le Chapitre 7, et en particulier la section 7.2, s'inspirent de cette théorie pour la mise en œuvre pratique de l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

de formalismes de représentation de l'incertitude autres que celui de la probabilité. La nature ordinaire des distributions de possibilité a permis de les utiliser de façon plus flexible dans plusieurs domaines de l'aide à la décision (Słowiński et Teghem, 1990; Sabbadin, 2001). En tout état de cause, à partir des années 1980, on observe un grand effort d'innovation dans le domaine de la décision dans l'incertain (Cohen et Jaffray, 1980; Machina et Schmeidler, 1995). Enfin, certaines contributions fondées sur d'autres formalismes logiques permettent de prendre en compte l'incertitude probabiliste, l'ambiguïté et les incohérences dans un processus d'aide à la décision (Perny et Tsoukias, 1998; Fortemps et Słowiński, 2002)⁹.

L'aide multicritère à la décision. Dans la première partie de cet historique, nous avons remarqué que la formulation des problèmes de décision comme problèmes d'optimisation est une simplification de la réalité. Les problèmes de décision sont presque toujours des problèmes où nous trouvons plusieurs dimensions, plusieurs points de vue, plusieurs acteurs impliqués, chacun portant ses valeurs, ses préférences, ses critères.

Nous avons vu aussi que, du point de vue technique, les méthodes d'aide multicritère à la décision se regroupent en deux catégories, selon la façon dont l'ensemble des solutions potentielles est exploré :

1. l'utilisation d'une fonction unique qui synthétise les différents critères ;
2. l'utilisation de procédures de comparaison par paires et de majorité.

Dans la première catégorie, nous trouvons, d'une part, les méthodes fondées sur la construction de valeurs multicritères (Keeney et Raiffa, 1976) et, d'autre part, les méthodes interactives d'exploration de l'ensemble des solutions efficaces d'un problème multiobjectif (Gardiner et Vanderpooten, 1997) ainsi que les heuristiques appliquées à cette typologie de problèmes (particulièrement difficiles, voir (Ehrgott et Gandibleux, 2002)). La construction des fonctions de valeur peut être obtenue à travers des méthodes directes (von Winterfeldt et Edwards, 1986) ou de façon indirecte : par exemple à travers la méthode AHP (Saaty, 1980), la méthode UTA (Jacquet-Lagrèze et Siskos, 1982) ou encore la méthode MACBETH (Bana E Costa et Vansnick, 1994).

9. En particulier, ce point sera discuté en détail dans la section 1.4.1.

Dans la deuxième catégorie, nous trouvons les méthodes connues sous le nom de « méthodes de surclassement », nom donné à la relation de préférence représentant le concept « au moins aussi bien que » par Bernard Roy (1985). Ces méthodes exploitent un principe de base élémentaire : en comparant A à B sous plusieurs critères, A sera déclaré au moins aussi bon que B si c'est le cas pour une « majorité » des critères et s'il n'y a pas de « minorités de blocage » (Roy, 1991; Schärli, 1996).

Ces deux catégories de méthodes présentent bien sûr chacune des avantages et des inconvénients. La construction d'une fonction d'utilité est plus restrictive (au sens des conditions à respecter) et demande un effort cognitif considérable du décideur (pas nécessairement intuitif), mais permet de fournir un résultat riche et théoriquement bien fondé. Les « méthodes de surclassement » sont beaucoup plus flexibles (très peu de conditions à respecter), mais le risque est d'obtenir un résultat assez pauvre et parfois difficilement justifiable d'un point de vue axiomatique (Belton et Stewart, 2002).

Conclusion de l'approche historique

En conclusion de cette reconstruction historique, nous pouvons souligner les points suivants :

1. La recherche opérationnelle et la théorie de la décision peuvent toujours être vues comme une seule discipline (comme ses fondateurs l'ont pensée il y a soixante-dix ans) ;
2. Cette discipline est profondément ancrée dans la pratique de l'aide à la décision avec de vrais décideurs impliqués dans de vrais processus de décision. Les résultats les plus abstraits et théoriques ont toujours émané de problèmes pratiques et procédé d'une recherche visant à trouver de vraies réponses à de vraies questions. Ainsi, la théorie a toujours été accompagnée de validation empirique.
3. L'évolution de la discipline a certainement été influencée par la vitalité de la recherche menée en son sein, mais a aussi énormément bénéficié du mélange culturel avec d'autres disciplines comme la philosophie, la psychologie, la théorie des organisations, les sciences politiques, la logique, les mathématiques et l'informatique.
4. Il y a un intérêt croissant pour des questions comme la structuration et la formulation des problèmes, la conduite des processus d'aide à la décision, la gestion des relations avec

les clients et la prise en considération de leurs demandes réelles, la formation de jeunes professionnels en recherche opérationnelle et aide à la décision. La problématique est d'aller au-delà du simple développement de théories de la décision (qui sont bien établies) vers ce que nous appelons une « méthodologie d'aide à la décision », c'est-à-dire un *corpus* de connaissances et une structure de raisonnement cohérente sur les théories et les pratiques qui concernent la décision et l'aide à la décision. Dans cette méthodologie, il est possible de distinguer différentes approches dont nous allons montrer les différences principales dans la section 1.2.3.

1.2.3 Typologie de l'aide à la décision et situation de la CBA et de CoBAYe

Pour pouvoir aider une personne à prendre une décision, l'analyste doit élaborer ses préférences. Ce qui est connu, ce sont ses « problèmes » et ses « désirs » (ou, pour le dire plus abstraitement, la situation problématique à laquelle il est confronté). Le passage de la situation problématique à un modèle d'aide à la décision et les actions possibles que ce modèle implique demandent l'utilisation de ce que Tsoukias (2006) appelle un « modèle de rationalité », c'est-à-dire un outil de traduction de l'information « informelle » (et naturellement ambiguë) en une représentation formelle. Les prochains paragraphes décriront quatre approches d'aide à la décision, chacune liée à un modèle de rationalité.

L'approche « normative »

L'approche classique de la théorie de la décision est directe. À chaque « état de la nature » est associée une probabilité et à chaque action potentielle du décideur sont associées des conséquences. En utilisant un des protocoles de construction de la fonction de valeur du décideur sur les conséquences, l'analyste peut bâtir la fonction d'utilité du décideur et, à travers sa maximisation, il est capable d'identifier la solution qui devrait être appliquée (car elle maximise l'utilité espérée du client). L'existence de cette fonction est garantie par un certain nombre d'axiomes énonçant ce qui, en théorie, constitue un comportement rationnel pour un décideur (Savage, 1954). Les préférences sont transitives (la présence de cycles impliquerait que le décideur pourrait augmenter indéfiniment la valeur de n'importe quelle solution, ce qui va à l'encontre de l'idée de rationalité). De même, les probabilités sont indépendantes. Il faut noter qu'aucune observation

sur le comportement du décideur particulier n'a été effectuée, pas plus que celui des décideurs placés dans des situations similaires. C'est le décideur qui doit adapter ses préférences et son comportement à ses axiomes. S'il ne le fait pas, c'est qu'il n'est pas « rationnel ». Cette approche est appelée *normative*.

Si le modèle d'aide à la décision traite de l'incertain, aucune incertitude n'est associée au modèle lui-même : tous les états de la nature sont possibles et toutes les actions potentielles également. Il s'agit simplement de trouver le traitement qui maximise l'utilité du décideur. Comme pour les lois ou les normes éthiques, la légitimité du modèle de rationalité est externe à la situation problématique. Le modèle de rationalité est « importé » dans le processus d'aide à la décision (Savage, 1954; Luce et Raiffa, 1957).

L'approche descriptive

Si l'analyste constate que le décideur n'est pas vraiment disposé à suivre les axiomes de la théorie classique, il a l'alternative de chercher un modèle de rationalité dont la légitimité ne soit pas théorique, mais empirique. Si d'autres décideurs ont adopté une certaine stratégie pour prendre une décision dans des conditions similaires, pourquoi ne pas la répéter ? C'est l'idée de base des approches appelées *descriptives* : définir des modèles ou des stratégies de décision sur la base de l'observation du comportement de vrais décideurs (Tversky *et al.*, 1982; Poulton, 1994).

Une fois encore, il s'agit d'imposer un modèle de rationalité indépendant de la situation problématique. Néanmoins, il bénéficie de plus de degrés de liberté. Le problème n'est pas nécessairement formulé comme un problème d'optimisation (plusieurs alternatives sont possibles). La personnalité du décideur n'est pas ignorée, mais prise en considération. D'autre part, comme dans le cas de l'approche normative, l'analyste est sûr du problème et du modèle : il s'agit bien de trouver la meilleure action potentielle pour le décideur, étant donnés les états de la nature et les incertitudes sur les conséquences.

L'approche prescriptive

Le problème est qu'il peut exister une situation où le décideur échappe à tout modèle de rationalité externe. Ses préférences peuvent ne pas être transitives ou, pire encore, être incomplètes.

Sa perception de l'incertain peut échapper à tout effort de quantification ou de mesure. De plus, le décideur peut se rendre compte de la nécessité de mieux exprimer ses préférences, mais n'avoir ni le temps, ni les ressources (ni peut-être l'envie) pour le faire. Néanmoins, il faut lui proposer une recommandation. Une approche peut être d'essayer d'identifier le modèle de rationalité du décideur sans faire appel à des modèles externes : c'est l'approche *prescriptive*. Bien sûr la validité de ce modèle est strictement locale, mais sa légitimité est bien claire : elle est fondée sur le décideur lui-même.

Il est clair, par ailleurs, que l'identification du modèle de rationalité doit accepter les contraintes du langage formel et de la cohérence avec ce que les procédures permettent ou ne permettent pas de faire avec l'information disponible (Tversky, 1977b; Weber et Coskunoglu, 1990). Le fait de ne pas imposer un modèle de rationalité, mais de le chercher dans la situation problématique et dans l'attitude du décideur vis-à-vis de celle-ci, permet effectivement d'être plus pragmatique et de ne pas le forcer à accepter des recommandations qui ne lui conviennent pas. D'autre part, il ne faut pas cacher le fait que l'analyste a fait deux hypothèses implicites : l'une, que le problème du décideur est bien celui qui a été présenté par l'analyste ; et l'autre, que le décideur a un modèle de rationalité. Il s'agit simplement de l'identifier.

L'approche constructive

La réalité de la décision est qu'assez souvent le décideur n'a pas les idées assez claires pour pouvoir fournir à l'analyste un modèle de rationalité. Est-on sûr d'avoir identifié tous les états de la nature possibles ? Toutes les actions potentielles ont-elles été prises en considération ? Faut-il effectivement agir ? En d'autres termes, chercher la solution d'un problème bien formulé est toujours possible. Le risque est de chercher la solution d'un problème qui n'est pas celui du décideur. Ce qui rend le processus difficile est que personne ne sait vraiment quel est le problème. Dans un tel cas, l'analyste doit suivre une approche dite *constructive* : il s'agit de construire en même temps le problème et sa solution.

Dans une approche de ce type, l'analyste ne doit pas simplement trouver quelle est la méthode la plus appropriée pour traiter le problème du décideur. Il faut, avec le décideur, construire une représentation de la situation problématique, formuler un problème formel qui reçoit l'adhésion

du client et, enfin, construire le modèle d'aide à la décision approprié. Dans ce processus, il y a une dimension d'apprentissage qui est fondamentale. Les modèles qui vont être construits sont le résultat d'un processus d'apprentissage mutuel : le décideur apprend à comprendre son problème d'un point de vue abstrait et formel et l'équipe d'étude (dont l'analyste) apprend à comprendre le problème du décideur du point de vue de celui-ci. Rien n'est donc donné et tout est à construire (Landry *et al.*, 1983; Roy, 1996).

Le tableau 1.1 résume ces quatre approches (Tsoukias, 2006) :

Tableau 1.1 – Différences entre les approches d'aide à la décision

Approche	Caractéristiques	Comment obtenir le modèle ?
normative	rationalité exogène, comportement économique	postuler
descriptive	rationalité exogène, modèles empiriques du comportement	observer
prescriptive	rationalité endogène, cohérence avec la situation problématique	découvrir
constructive	processus d'apprentissage, cohérence avec le processus de décision	établir un consensus

La CBA et CoBAYe dans cette typologie

En reprenant la typologie précédente et résumée dans le Tableau 1.1, nous pouvons situer la CBA et l'outil CoBAYe de la façon suivante :

- L'*analyse coûts-bénéfices* est ancrée dans une approche normative de l'aide à la décision. Le décideur et les acteurs qui sont concernés par la décision adoptent un comportement économique rationnel.
- L'*outil CoBAYe*, en revanche, n'envisage pas les agents économiques soumis à une rationalité parfaite, mais plutôt une rationalité procédurale (voir section 1.5). Par ailleurs, la solution du problème et le problème lui-même sont construits de façon concomitante au cours d'un processus de concertation entre le décideur et certains acteurs concernés par la décision : l'approche de l'outil CoBAYe est donc constructive au cours de ce processus d'apprentissage mutuel.

Enfin, dans les deux cas, la CBA comme CoBAYe sont des outils d'aide à la décision collective - et en particulier de décision publique dans le cas de la CBA. De ce fait, ils sont intrinsèquement soumis à des problèmes d'agrégation de préférences collectives, comme nous le présentons en section 1.3.

1.3 Le problème de la décision collective : comment agréger les préférences individuelles ?

1.3.1 Pourquoi une décision collective ?

Le choix collectif s'inscrit dans une démarche importante et nécessaire du décideur public, qui est de maîtriser l'économie du territoire ou domaine dont il a la compétence afin d'anticiper des comportements ou des réactions, d'éviter des frustrations et de procurer un bien-être à ses administrés ou ses employés. Dans cette perspective, les principales finalités d'une société sont les libertés démocratiques, la justice sociale et le bien-être. L'une des difficultés majeures de la conduite du progrès est alors le respect de ces finalités. En effet, complémentaires au niveau de l'individu, ces finalités sont parfois contradictoires au regard de la politique économique et sociale. Des arbitrages et des choix collectifs sont alors nécessaires, où l'économique et le social retrouvent leurs significations les plus nobles, l'expression politique cherchant à servir le progrès humain.

Assurer dans le respect des libertés le progrès de la justice et du bien-être apparaît l'objectif de la politique économique et sociale, qu'elle soit à l'échelle supranationale, nationale ou locale. Des contradictions peuvent cependant être mises en évidence dans cet exercice : la liberté ne crée-t-elle pas de l'inégalité ? Et l'égalité elle-même ne compromet-elle pas la croissance et le bien-être ?

Un premier élément de confusion est que l'équité ne se confond pas avec l'égalité¹⁰. Le slogan « à chacun selon ses besoins » reflète par exemple les idées de justice égalitaire, mais d'aucuns affirment que s'il conduit à donner à chacun un revenu prédéterminé et garanti, « il mène l'économie à sa ruine puisque personne n'aura plus aucun intérêt à travailler » (Stoleru, 1978). C'est pourquoi le principe « à chacun selon son travail » a ainsi été plus communément appliqué, ayant eu plus de retours positifs quels que soient les pays où il a été mis en pratique. Cette notion de justice distributive, selon laquelle chacun se voit rémunéré en fonction du travail qu'il fournit, contribue à une hiérarchie des revenus, mais à laquelle il a été adjoint une « garantie de survie » accordée à chacun, quel que soit son travail, sous la forme d'indemnités de chômage, de salaire minimum ou d'allocations familiales par exemple.

Cependant, il n'existe pas de mesure homogène du « travail » pour coordonner les rétributions relatives au principe de justice distributive précédemment énoncé : il ne se mesure pas en volume, ou en heures par exemple. C'est ce qui a amené certains à faire évoluer le principe en « à chacun selon la valeur de son travail » (la valeur étant elle-même difficile à mesurer). Néanmoins, ce nouveau slogan n'est pas forcément accepté par tous, ce que Stoleru (1978) explique par l'illustration suivante : « huit heures de travail passées par un mineur à creuser et forer sous la terre ne sont pas les mêmes selon que le résultat est de ramener à la surface une tonne de charbon, une tonne de minerai de fer ou quelques carats de diamant. Comment un mineur de charbon pourrait-il accepter de gagner moins qu'un mineur de fer sous prétexte que le charbon se vend moins cher que le minerai de fer ? » La justice redistributive est donc rétablie en transférant des revenus des uns vers les autres.

Toutefois, pour certains, le transfert de revenus peut conduire à une inefficacité. En effet, en reprenant l'illustration précédente, augmenter de 8 % les mineurs, c'est dire que :

1. ou bien l'on augmente les prix de charbon, ce qui conduira sans doute à en vendre beaucoup moins, voire plus du tout dans un contexte de concurrence mondiale et, par la suite, à fermer les mines et à transformer les mineurs que l'on vient d'augmenter en chômeurs ;

10. En matière de justice sociale et de répartition des biens, l'équité conduit à proportionner les rétributions (les biens et services distribuables : revenus, marchandises, services publics, fonctions, emplois, titres, honneurs, prestations sociales...) à la situation particulière d'un individu ou d'une catégorie particulière d'individus et cela en fonction de critères de justice. Cela contribue nécessairement à considérer que des rétributions inégales peuvent être plus justes que des rétributions égales (Échaudemaïson, 2001).

2. ou bien l'on n'augmente pas les prix de charbon, et on subventionne les entreprises qui en produisent. Cette dernière solution fait alors vivre artificiellement des secteurs condamnés économiquement à s'éteindre, à cause du changement de structure des consommations.

La redistribution peut ainsi fausser le mécanisme de sélection, ou d'adaptation des firmes qui survivent, et encourir des pertes sévères en efficacité. C'est la raison pour laquelle certains décideurs sont plutôt d'avis que les revenus se distribuent en fonction des performances économiques et non manuelles des individus. Dans cette acception, le progrès économique naît en effet de la mobilité, de la dynamique et de la liberté d'entreprendre : une nouvelle technique très productive apparaît, aussitôt une entreprise l'utilise et peut ainsi augmenter ses salaires et ses profits ou baisser ses prix. Les salariés, les consommateurs et de nouvelles entreprises affluent alors vers cette branche, engendrant le progrès économique. Supprimer les différences de prix, salaires et profits inhibe alors le progrès. Cette contradiction témoigne par exemple de la nécessité pour un décideur de réaliser un compromis dosé entre l'équitable et l'efficace afin d'assurer le bien-être de la société dont il a la charge.

Une solution fréquemment évoquée est alors de procéder en deux temps : laisser initialement l'économie accomplir sa fonction productive et, cela fait, l'État (ou une instance de décision à échelle plus locale, publique ou privée) peut assurer dans un second temps la redistribution nécessaire à la justice sociale, ce qui est bien montré par la parabole du gâteau : produisons autant que possible et plus le gâteau sera grand, plus il y en aura pour chacun et plus il sera facile d'assurer la justice sociale. Cette théorie du gâteau est malheureusement fautive pour plusieurs raisons : il n'y a pas, d'un côté, une économie qui fabrique un gâteau et d'un autre côté quelqu'un qui le découpe en sortant du four. Il est plutôt déjà découpé en sortant du four. Le mécanisme des anticipations des différents agents économiques explique également pourquoi le gâteau ne sera pas plus grand, chacun anticipant les redistributions et adaptant sa contribution en fonction de son utilité.

C'est donc un perpétuel dosage entre liberté, croissance et justice qu'il est demandé à tout décideur, lorsqu'il est amené à faire des choix. La fonction majeure de l'instance de décision n'est donc ni sa fonction de distribution, ni sa fonction de régulation. Elle est plutôt de découvrir les préférences collectives, c'est-à-dire de mettre en place les institutions, consultations et structures

de décision capables de faire remonter de la base les informations nécessaires. Ce processus se fait en deux étapes :

1. Identifier et quantifier les préférences individuelles, c'est-à-dire parvenir à découvrir les comportements des acteurs économiques et les intensités avec lesquelles les consommateurs apprécient les diverses options qui leur sont ouvertes ;
2. Pondérer les préférences individuelles en déterminant le poids que la collectivité désire attribuer à chaque catégorie sociale, en fonction d'un certain consensus, majoritaire par exemple, en faveur d'une structure sociale particulière.

« La démocratie véritable se juge ainsi par son aptitude à faire remonter vers le centre de décision, à quantifier et à amalgamer les préférences individuelles de ses citoyens » (Stoleru, 1978). L'outil CoBAYe, qui sera présenté dans ce travail, est à notre avis un processus qui permet d'aider le décideur à faire des choix en fonction du compromis nécessaire entre liberté, croissance et justice et des anticipations relatives à chaque acteur concerné par la décision. Avant d'en faire une présentation, nous développons dans les sections suivantes les théories les plus marquantes de la décision collective.

1.3.2 Le paradoxe de Condorcet

Tout choix collectif démocratique suppose que chaque citoyen, sous l'hypothèse de rationalité parfaite, peut définir ses préférences parmi plusieurs options possibles. Il peut avoir une échelle cardinale de préférences qui lui permet d'attribuer une note chiffrée à tout état possible. Il peut sinon avoir seulement une échelle ordinale de préférences où, sans être capable de chiffrer, il est simplement capable de dire s'il préfère A à B , ou B à A , ou s'il est indifférent.

Condorcet (1785) avait déjà fait apparaître la difficulté qu'il y a à déduire des règles de choix individuelles une règle de choix collective qui soit rationnelle : prenons pour exemple trois électeurs $E1$, $E2$ et $E3$ qui ont à choisir entre trois programmes A , B et C et qui ont les échelles de préférences décrites dans le tableau 1.2 :

Si l'on procède par vote à la majorité, on se rend compte que :

- un vote entre A et B conduira à préférer A à B ;

Tableau 1.2 – Paradoxe de Condorcet : échelles de préférences

	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>
Premier programme choisi	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Deuxième programme choisi	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>
Troisième programme choisi	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>

- un vote entre *B* et *C* conduira à préférer *B* à *C* ;
- un vote entre *A* et *C* conduira à préférer *C* à *A* ;

ce qui prouve que le système de vote à la majorité est incohérent avec l'hypothèse de transitivité (incluse dans celle de l'individu rationnel) puisque préférant *A* à *B* et *B* à *C*, la société préfère quand même *C* à *A*. Même s'il est démocratique, le vote à la majorité ne fournit ainsi pas toujours un moyen rationnel de choix lorsqu'il y a désaccord. En particulier, cette situation montre quels peuvent être les artifices d'un vote pour faire passer un programme donné : s'il n'y a par exemple que les deux programmes *A* et *C* en présence et si l'on veut faire passer le programme *A* alors qu'on pense que le corps électoral votera pour *C*, on voit qu'il suffit d'interposer un programme *B* bien choisi pour faire renverser le vote. De même, une telle situation peut exister dans le cas où un décideur public s'entoure d'un collège d'experts ou de conseillers pour faire son choix entre trois politiques d'amélioration de la qualité de l'air, par exemple ¹¹ :

- (A) une politique favorisant l'émergence du véhicule électrique par l'attribution de subventions ;
- (B) une autre diminuant l'usage du véhicule particulier par la mise en œuvre d'un péage urbain ;
- (C) et une troisième consistant à mettre en œuvre d'une « Zone à Circulation Restreinte » (voir Chapitre 10).

Évidemment, si le décideur finit par choisir seul, sans tenir compte des votes de ses conseillers, la situation se ramène à celle d'un choix individuel et dépend uniquement de la rationalité et des préférences du décideur public. Ce recours à un « dictateur » est, pour Arrow (1951), la seule façon d'aboutir à un choix dans le cas où celui-ci est rationnel. En effet, ce n'est pas la simplicité de la procédure de vote de cet exemple qui rend un choix démocratique impossible, mais les

11. Pour obtenir une situation telle que décrite par le paradoxe de Condorcet, il faut bien sûr que les trois politiques d'amélioration de la qualité de l'air citées vérifient l'échelle de préférence présentée dans le tableau 1.2 pour le collège de décideurs.

conditions mêmes dans lesquelles se trouve le collège de décideurs au moment de faire son choix : c'est l'objet du *théorème d'impossibilité d'Arrow*, présenté en section 1.3.3.

1.3.3 Le théorème d'impossibilité d'Arrow

Les hypothèses

Kenneth Arrow (1951) fait l'hypothèse que les décideurs agissent en tant qu'individus rationnels individuellement, et essaie de savoir s'il est possible d'élaborer une méthode de choix collectifs rationnels¹². Pour cela, il suppose qu'une telle procédure, quelle qu'elle soit, doit satisfaire aux cinq conditions suivantes :

1. *La condition dite de souveraineté des citoyens.* La méthode de choix collectifs ne doit pas conduire à préférer A à B quels que soient les choix individuels entre A et B . En d'autres termes, la société ne peut pas préférer A à B indépendamment du choix des citoyens.
2. *La condition d'unanimité.* Si l'un des choix possibles remonte dans l'échelle de préférences de chaque individu, il doit remonter (ou du moins ne pas baisser) dans l'échelle des préférences collectives. Cette condition peut aussi s'entendre comme une version du postulat de Pareto (voir section 2.2.1), c'est-à-dire que si la préférence d'un individu ne s'oppose à aucune autre préférence d'un autre individu, cette préférence est conservée dans l'ordre social.
3. *La condition dite des choix non dictatoriaux.* Aucun individu ne bénéficie d'une position telle que, s'il exprime une préférence entre deux options alors que tous les autres individus expriment la préférence opposée, sa préférence sera toujours conservée dans l'ordre social. En d'autres termes, nul n'a le pouvoir d'imposer ses préférences à la société.
4. *La condition d'universalité, dite de liberté des choix.* Il y a quelques options « universelles » U telles que, pour toute paire d'autres options X et Y et pour tout individu, chacun des six ordres possibles de U , X et Y est contenu dans quelque classement acceptable de toutes les options pour un individu. La méthode des choix collectifs doit donc s'appliquer à l'ensemble des choix offerts aux individus et permettre tout ordre possible des trois options X , Y et U . Aucun ordre de classement des choix par un individu n'est exclu *a priori*.

12. En particulier, l'hypothèse de choix collectifs rationnels suppose que la fonction de bien-être social est transitive, c'est-à-dire qu'elle donne un ordre cohérent de toutes les options possibles : si (A est préféré à B) et si (B est préféré à C) alors (A est préféré à C) et, de même, (A indifférent à B) et (B indifférent à C) entraîne que (A indifférent à C).

5. *La condition dite d'indépendance aux choix extérieurs.* Le choix social entre toute paire d'options doit dépendre seulement des ordres des individus entre ces deux options, et non de leur ordre par rapport à d'autres options. En particulier, si n choix sont possibles, le classement relatif de ces n choix par la collectivité ne doit pas être modifié par l'introduction d'un nouvel élément de choix. En particulier, cette condition est celle qui fait référence au paradoxe de Condorcet.

Le théorème

À partir des cinq conditions précédentes, Arrow a pu démontrer mathématiquement le théorème suivant :

Il n'existe aucune méthode rationnelle de choix collectifs qui satisfasse les cinq conditions précédentes lorsque le nombre de cas possibles est supérieur à 2.

Éléments de démonstration

Nous utilisons dans ces éléments de démonstration la preuve fournie par Vickrey (1960). Pour cela, nous prenons les notations et définitions suivantes :

- Chaque option possible est représentée en lettre minuscule (par exemple x).
- Chaque membre de la société est représenté par une lettre majuscule (par exemple D).
- « Préféré à » sera noté P .
- Nous disons qu'un ensemble d'individus D est *décisif* pour les options x et y et dans une fonction de bien-être social¹³ donnée, si la fonction produit une préférence sociale pour x sur y quand tous les individus en D préfèrent x à y , alors que tous les autres préfèrent y à x .

La logique de la preuve du théorème d'impossibilité d'Arrow peut alors être présentée sous la forme suivante dans le tableau 1.3 :

Une fois arrivés à l'étape 16 de la preuve, nous sommes confrontés à la situation suivante. Dans tous les cas, un des sous-ensembles de D est décisif pour deux enjeux, et par conséquent par l'étape 9 pour tous les enjeux. Les étapes 10-16 peuvent être répétées pour ce nouvel ensemble

13. La fonction de bien-être social fera l'objet de discussions supplémentaires en section 1.3.5.

Tableau 1.3 – Logique de la preuve du théorème d'impossibilité d'Arrow

	Étape	Justification
1	Soit D un ensemble d'individus décisifs pour x et y	Hypothèse
2	Pour tous membres de D , $xPyPu$, et pour tous les autres (ceux de C) $yPuPx$	Universalité
3	Pour la société xPy	Définition de D
4	Pour la société yPu	Unanimité
5	Pour la société xPu	Transitivité (rationalité)
6	Mais pour les seuls membres de D , xPu	Hypothèse
7	La société doit préférer x à u même lorsqu'il y a des changements dans le classement de y (ou d'autres options)	Indépendance
8	D est décisif pour x et u	Définition
9	D est décisif pour toutes les paires d'options	Répétition des étapes 2-8
10	D doit comprendre deux personnes ou plus	Non-dictature
11	Divisons D en deux sous-ensembles non vides A et B	Hypothèse
12	Dans lesquels pour $A : x'Py'Pu'$ pour $B : y'Pu'Px'$ pour $C : u'Px'Py'$	Universalité
13	Puisque pour les membres de A et B , $y'Pu'$, pour la société $y'Pu'$	Définition de D
14	Si pour la société $y'Px'$, B est décisif pour y' et x'	Définition de D
15	Si pour la société $x'Py'$, alors pour la société $x'Pu'$	Transitivité (rationalité)
16	Mais alors A est décisif pour x' et u'	Définition de D

décisif et on continuera ainsi jusqu'à ce qu'un ensemble décisif contienne un seul membre, ce qui contredit le postulat de non-dictature.

Ce résultat a une grande importance économique, politique et sociologique et implique par exemple que, confronté à plusieurs options de politique d'amélioration de la qualité de l'air, et en supposant qu'il est rationnel, le décideur public n'a pas d'autre choix que d'adopter une posture de « dictateur » pour effectuer son choix. Ainsi, soit il choisit en dernier recours, soit il faut peut-être affaiblir ou bien une des conditions du théorème d'Arrow ou bien l'hypothèse de rationalité parfaite du décideur elle-même (comme il en est question dans la section 1.5.1).

1.3.4 Black et Sen : un affaiblissement des conditions du théorème d'Arrow

Black (1969) et la condition d'unimodalité

L'une des premières tentatives faites pour sortir du théorème d'impossibilité a été de remettre en cause la condition de liberté des choix en soulignant qu'il existe en fait un certain degré de consensus dans les choix des votants, ce qui permet d'exclure certains classements. En particulier, l'hypothèse de Black (1969) est qu'il existe un certain ordre « objectif » entre les options soumises au consommateur. Si ces options sont par exemple quatre niveaux d'une dépense publique

- (a) $A = 1\ 000$
- (b) $B = 1\ 500$
- (c) $C = 2\ 000$
- (d) $D = 3\ 000$,

les consommateurs qui choisissent une dépense forte D préféreront C à B et B à A . De même, ceux qui choisissent une dépense assez faible B préféreront C à D . Les préférences respectent dans ce cas l'ordre objectif des options.

L'hypothèse de Black, dite d'*unimodalité*, s'exprime alors comme un ordonnancement des préférences en conservant la même relation d'ordre pour des utilités cardinales ($A < B < C < D$ dans le cas où l'investissement public le plus faible est préféré). Il est alors possible de démontrer que, si cette hypothèse est vérifiée, et qu'on omet l'hypothèse de liberté des choix, alors le vote majoritaire conduit à une règle de décision collective qui satisfait aux quatre autres conditions de rationalité des choix collectifs énoncées par Arrow et reprises en section 1.3.3.

Sen (1969) et l'utilisation d'une mesure cardinale

À partir des hypothèses du théorème d'Arrow, Sen en identifie trois qui sont particulièrement importantes (Ferey et Pichon-Mamère, 2014) :

1. l'énoncé sous forme d'ordinalité (on ne fait que classer des préférences sans mesurer leur intensité) ;
2. l'universalité des préférences (toutes les préférences sont possibles), c'est-à-dire la condition de liberté des choix critiquée également par Black ;

3. et le refus des comparaisons interpersonnelles d'utilité (on ne peut donc pas compenser une baisse d'utilité d'un individu par la hausse d'utilité d'un autre). Cette hypothèse n'est pas citée comme telle par Arrow, mais reflète la condition dite d'unanimité de la section 1.3.3.

En premier lieu, Sen (1969) étudie les conditions qui permettraient de transformer ce résultat « négatif » en un résultat « positif » :

- La première stratégie consiste à n'étudier que des classements « impurs » (c'est-à-dire partiels, incomplets) d'états sociaux. Ainsi, comme le fait Black, et en ne raisonnant que sur certains types de préférences (c'est-à-dire en levant l'hypothèse d'universalité des préférences), il est possible de construire des règles de décisions collectives qui échappent au théorème d'Arrow.
- La deuxième stratégie consiste à accepter les comparaisons d'utilité entre les individus. Passer d'un état social à un autre peut être légitime, tant que les pertes des uns sont compensées par les gains des autres. Cette stratégie s'apparente à une utilisation du critère de Kaldor-Hicks¹⁴.
- Enfin, la troisième stratégie est le complément de la précédente : dès lors qu'on accepte les comparaisons, il faut savoir quoi comparer. Elle consiste donc à modifier la « base informationnelle », c'est-à-dire l'ensemble des informations considérées comme pertinentes pour effectuer le choix social. Alors que, pour Arrow, seul comptait le classement des préférences (ordinalité), Sen considère qu'il est possible de s'intéresser à l'intensité des préférences (cardinalité) pour construire la fonction de décision sociale. Le théorème d'impossibilité n'est plus qu'un cas particulier qui associe ordinalité et incomparabilité. Trois autres cas sont à étudier : ordinalité et comparabilité, cardinalité avec et sans comparabilité.

En second lieu, Sen utilise la méthode axiomatique pour démontrer de nouveaux résultats. Le résultat le plus important est « le paradoxe de l'impossibilité du parétien libéral » qui démontre que l'unanimité parétienne comme critère de choix social (un état social x est dit meilleur qu'un état y si tout le monde préfère x à y) peut violer le respect des droits les plus élémentaires des

14. Les critères de compensation, et notamment ceux de Pareto et de Kaldor-Hicks, seront discutés en section 2.2.

individus (l'existence d'une sphère privée)¹⁵. L'unanimité, n'est donc pas, contrairement aux apparences, une garantie du respect des droits des personnes (Sen, 1970a).

La fonction de bien-être social d'Arrow a été construite par analogie avec la fonction d'utilité individuelle. Une façon d'analyser le comportement individuel consiste à supposer différentes hypothèses concernant la rationalité individuelle, sont suffisantes pour définir un ordre de préférences et pour prédire quel panier de biens chaque individu choisira en fonction de son environnement. Ainsi, par analogie, Arrow a posé quelques postulats sur la prise de décision collective, satisfaisant un ensemble étroit et basique d'axiomes éthiques (les cinq conditions présentées en section 1.3.3 et l'hypothèse de rationalité) et a procédé à une analyse des décisions de la société en termes d'ordres de préférences sociales (Mueller *et al.*, 2010). Cependant, pour aider à la décision collective, d'autres moyens peuvent être utilisés, en utilisant des fonctions de bien-être social différentes. Le procédé consiste à nouveau en une analogie avec la fonction d'utilité individuelle, mais les caractéristiques de la fonction de bien-être, ainsi que les éléments qui y sont intégrés, constituent des jugements de valeur qui donnent un caractère normatif à la fonction de bien-être social, comme nous le présentons brièvement dans la section 1.3.5.

1.3.5 Bergson, Samuelson, Fleming, Harsanyi, Ng et Nash : les autres fonctions de bien-être social

La science économique peut légitimement porter son attention sur l'explication et la prédiction de certains phénomènes mais doit laisser aux hommes politiques le soin de déterminer les objectifs d'une société. Dans le champ des politiques économiques, toutefois, cette position peut sembler moins légitime. Cela explique l'intérêt des chercheurs et des économistes pour la manière dont le processus politique va rendre compte des valeurs fondamentales d'une société. L'enjeu d'une théorie normative consiste alors à développer des théorèmes portant sur l'expression et la mise en œuvre de ces valeurs, à partir de postulats généralement acceptés, de la même façon que la théorie positive a développé des théorèmes explicatifs et prédictifs fondés sur les hypothèses de rationalité et d'égoïsme des individus¹⁶. C'est l'objet des fonctions de bien-être social dont quelques-unes sont présentées ici.

15. Cette critique est abordée plus en détail dans le Chapitre 2.

16. Cette section est adaptée de (Mueller *et al.*, 2010).

La fonction de bien-être social de Bergson et Samuelson

Pour représenter les valeurs de la communauté, l'analyse économique utilise généralement une fonction de bien-être social. L'article fondateur sur les fonctions de bien-être social est dû à Abraham Bergson (1938) et les explications ultérieures ont été fournies par Paul Samuelson (1947). On peut donc écrire comme suit la fonction de bien-être social de Bergson-Samuelson :

$$W = W(z_1, z_2, \dots, z_n)$$

où W est une fonction à valeur réelle de toutes les variables susceptibles d'influer sur le bien-être social et où les z_i et W sont choisis de façon à représenter les valeurs éthiques de la société, ou des individus qui la composent (Samuelson, 1947). L'objectif consiste à définir une fonction W et un ensemble de z_i ainsi que leurs contraintes afin d'aboutir à des conditions pertinentes du premier et du second ordre assurant la maximisation de W . Même si, en principe, n'importe quelle variable liée au bien-être de la société (par exemple les données météorologiques, le taux de pollution atmosphérique, la possession d'un véhicule, le nombre d'années d'études...) peut être incluse dans la fonction de bien-être social, les économistes ont surtout retenu des variables économiques. Ainsi les travaux relatifs à la fonction de bien-être social ont adopté les mêmes hypothèses (à propos des consommateurs ou des fonctions de production par exemple), que celles qui sous-tendent le corps de la théorie économique néoclassique, et en ont fait le centre de leur analyse.

Parmi les nombreux travaux qui ont suivi l'établissement de cette fonction de bien-être social, un des seuls jugements de valeur qui a été unanimement accepté est le postulat de Pareto, qui suffit à mettre en évidence un ensemble de conditions nécessaires pour que W soit maximisé. En ont suivi des discussions au sujet des caractéristiques des fonctions d'utilité individuelles¹⁷; notamment si des fonctions d'utilité ordinales sont suffisantes ou s'il est nécessaire d'avoir recours à des indices d'utilité cardinale et, le cas échéant, si des comparaisons interpersonnelles sont nécessaires (Kemp et Ng, 1976; Parks, 1976). En effet, pour ces auteurs, alors que les fonctions d'utilité ordinales conviennent parfaitement à l'analyse des décisions individuelles, elles ne permettent pas de rendre compte des décisions sociales, qui incluent la perspective d'arbitrages

17. Dans ce cas, les z_i représentent des fonctions d'utilité individuelles U_i .

inter-individuels. D'autres discussions ont traité de la question (Hammond, 1976; Samuelson, 1977) et il faut plutôt conclure que :

1. les fonctions d'utilité ordinale sont des arguments suffisants de W lorsqu'il s'agit de déduire les conditions nécessaires pour atteindre un optimum de Pareto ;
2. des arguments cardinaux, comparables d'un individu à un autre, sont nécessaires pour choisir le meilleur point, unique, parmi l'infinité des optima de Pareto.

Kemp et Ng (1976), puis Parks (1976) démontrent, un peu à la manière d'Arrow, qu'il est impossible d'avoir une fonction de bien-être social qui satisfait un ensemble particulier d'axiomes et, entre autres, que les arguments de la fonction sont des fonctions d'utilité ordinale. Leur théorème a donc conduit à s'intéresser à la nature des axiomes qui sont nécessaires pour obtenir des fonctions de bien-être social raisonnables, ce qui est l'objet des paragraphes suivants.

La fonction de bien-être social de Fleming

Fleming (1952) est considéré comme le premier à avoir étudié les fonctions de bien-être social de manière axiomatique. Il a montré que les fonctions de bien-être social qui satisfont le principe parétien et l'axiome de l'élimination des individus indifférents doivent avoir la forme suivante :

$$W = f_1(U_1) + f_2(U_2) + \dots + f_n(U_n)$$

où l'*axiome de l'élimination des individus indifférents* est le suivant :

Prenons au moins trois individus, supposons que I et J sont indifférents entre les alternatives x et x' , et entre y et y' , mais I préfère x à y , et J préfère y à x . Supposons également que tous les autres individus sont indifférents entre x et y , et entre x' et y' (mais non nécessairement entre x et x' , et y et y'), alors les préférences sociales doivent toujours venir de la même manière entre x et y qu'elles le font entre x' et y'

(énoncé qui suit la présentation de Ng (1981))

L'axiome de l'élimination des individus indifférents possède deux propriétés importantes (Mueller *et al.*, 2010) :

1. Comme son nom l'indique, il élimine les individus qui sont indifférents entre x et y ;
2. Il faut que, quelles que soient les règles utilisées pour savoir si les préférences de I sur x et y outrepassent celles de J , on doit aussi pouvoir décider de la paire (x', y') , étant donnée l'indifférence de I et J entre x et x' d'une part, et entre y et y' d'autre part. Toute convention visant à décider quelle préférence privilégier aboutirait, cependant, à une forme de dictature. Une convention alternative serait de poser une fonction d'utilité cardinale pour I et J permettant de faire des comparaisons interpersonnelles d'utilité.

Enfin, la valeur de W est indépendante de l'ordre des individus de la séquence $(1, n)$ et vérifie ainsi l'axiome sur le caractère anonyme. En revanche, la forme de la fonction W n'est pas donnée et les fonctions f_i peuvent être des fonctions linéaires $f_i(U_i) = a_i \cdot U_i$ (W devient alors une fonction additive) ou logarithmiques $f_i(U_i) = \log(U_i)$ par exemple (W est alors une fonction multiplicative).

La fonction de bien-être social d'Harsanyi

Harsanyi obtient une fonction de bien-être social à partir des trois hypothèses suivantes (Harsanyi, 1953, 1955, 1986) :

1. Les préférences personnelles des individus respectent les axiomes de Von Neumann et Morgenstern (1944) sur les choix en présence de risque. Cette hypothèse garantit simplement une forme de rationalité individuelle face au risque et semble plutôt neutre en tant que telle.
2. Les préférences éthiques des individus obéissent aux mêmes axiomes de l'action. Cette hypothèse étend le principe de rationalité face au risque des préférences personnelles aux préférences morales, et implique la prise en compte d'utilités individuelles dans les choix éthiques.
3. Si tous les individus sont tous indifférents entre deux perspectives p et q , celles-ci sont alors équivalentes d'un point de vue social.

Les préférences d'un individu sont celles qu'il utilise lorsqu'il prend des décisions au quotidien. Ses préférences éthiques, en revanche, sont plus rarement utilisées, uniquement lorsqu'il

fait des choix moraux ou éthiques. Ces derniers impliquent alors qu'il évalue les conséquences de ses décisions sur les autres individus et, par conséquent, qu'il se livre à des comparaisons interpersonnelles d'utilité.

De ces trois postulats, Harsanyi en déduit alors le théorème suivant concernant la fonction de bien-être social W :

W est la somme pondérée des utilités individuelles et prend la forme

$$W = a_1U_1 + a_2U_2 + \dots + a_sU_s$$

où a_i correspond à la valeur de W quand $U_j = 0$, pour tout $j \neq i$

La découverte de l'additivité de la fonction de bien-être social n'est, cependant, qu'une première étape dans la détermination d'un résultat socialement optimal. Il reste en effet encore, d'une part, à déterminer des pondérations à attribuer à chaque individu, c'est-à-dire à donner une valeur aux a_i et, d'autre part, également à évaluer les indices d'utilité U_i eux-mêmes. C'est pour cela que Harsanyi (1955) fonde sa fonction sur des bases éthiques. Il suggère que les individus évaluent la fonction de bien-être social pour chaque état du monde possible en se mettant dans la peau de chaque individu, un peu comme le pensera Rawls (1971) plus tard¹⁸. Pour que la sélection des états du monde soit impartiale, chaque individu fait l'hypothèse qu'il a la même probabilité de se retrouver à la place de n'importe quelle personne. Ce choix d'un état du monde s'apparente à une loterie¹⁹, les utilités (évaluées d'après les préférences subjectives) de chacun ayant toutes la même probabilité d'être tirées. Ceci consiste à supposer que chacun a la même probabilité d'hériter à la fois des goûts et de la situation de n'importe quelle autre personne et résout par conséquent deux problèmes :

18. Une fonction de bien-être social qui attribue une pondération suffisante à la fonction de préférence de l'individu qui aime le moins le risque reflète à la limite ce même degré extrême d'aversion pour le risque. Il y a en ce sens une grande proximité entre les théories de Harsanyi et de Rawls. Ils recherchent tous deux un moyen de trouver un résultat social juste et cherchent également à ce que l'incertitude de leurs situations assure l'impartialité de leurs choix. Rawls (1971), néanmoins, et contrairement à Harsanyi, n'utilise pas de calcul d'utilité (Mueller *et al.*, 2010).

19. La loterie et quelques méthodes de décision en situation d'incertitude probabiliste seront discutées plus en détail dans la section 1.4.

1. les fonctions d'utilité sont évaluées à l'aide de préférences subjectives propres à chaque individu,
2. et les pondérations attribuées à chacune d'elles, les a_i , sont égales.

la fonction de bien-être social peut alors simplement s'écrire comme la somme des utilités de tous les individus :

$$W = U_1 + U_2 + \dots U_s$$

La théorie de Harsanyi a bien sûr, comme toutes les autres fonctions de bien-être social, fait l'objet de quelques critiques. En particulier, certains voient en le second axiome une extension illégitime de la rationalité individuelle au choix collectif (Pattanaik, 1968) : dans la théorie de Harsanyi, W est subjectif dans l'esprit des individus. Or, étant donné la subjectivité des évaluations de chacun, les W ne seront pas les mêmes pour tout le monde, et un W ne pourrait par conséquent pas exister. En effet, face à un choix donné, un individu pourrait refuser de s'engager dans un jeu de hasard équitable qui distribuerait les niveaux d'utilité de chacun selon deux états, comme une personne adverse au risque refuserait de participer à des jeux d'argent équitables dans lesquels des récompenses monétaires sont en jeu. Bien que la fonction de bien-être de Harsanyi incorpore l'aversion pour le risque de chaque individu dans l'évaluation de U_i , elle ne permet pas de distinguer les différents degrés d'aversion parmi les observateurs impartiaux qui déterminent les valeurs de la fonction de bien-être social. Or, si leurs préférences à l'égard du risque diffèrent, leurs évaluations du bien-être social dans les différents états possibles du monde ne seront pas les mêmes. Il sera donc impossible de parvenir à un accord unanime sur la fonction de bien-être social.

La fonction de bien-être social de Ng

Comme Harsanyi, Ng (1975) a aussi construit une fonction de bien-être social additive dans laquelle les utilités de chaque individu sont mesurées en unités de « sensibilité restreinte »²⁰, dont le concept est construit sur la « reconnaissance du fait que l'on ne peut pas différencier à l'infini les êtres humains » (Ng, 1975). Alors, pour un nombre assez petit de changements de x à x' , un individu est indifférent entre x et x' même si $x \neq x'$: Les individus sont capables

20. « *Finite sensibility unit* » en anglais.

de percevoir les changements de x seulement pour des intervalles discrets de x . Ces évolutions discrètes de la perception du changement de x deviennent des éléments constitutifs d'un indice d'utilité cardinale mesuré par des unités de sensibilité restreinte. Muni de ce postulat, Ng ajoute par la suite le *critère de la préférence majoritaire faible* :

Si une majorité préfère x à y , et que tous les membres de la minorité sont indifférents entre x et y [au sens de la sensibilité restreinte], alors la société préfère x à y .

Le critère de préférence majoritaire faible incorpore les valeurs éthiques construites sur la base de la fonction de bien-être social. Il s'agit bien sûr d'une combinaison à la fois du principe de Pareto et du principe majoritaire mais, contrairement au principe de Pareto, le critère de préférence majoritaire faible permet à la majorité d'être décisive face à la minorité si cette dernière est indifférente, au sens de la sensibilité restreinte. Dans la perspective des choix publics, les théorèmes de Harsanyi et de Ng sont probablement les plus importants pour justifier l'additivité des fonctions de bien-être social. Les axiomes sous-jacents sont faciles à interpréter et à intégrer à un ensemble de règles constitutionnelles par exemple.

La fonction de bien-être social de Nash

Alors que les fonctions additives de bien-être social sont associées à Jeremy Bentham²¹, les fonctions multiplicatives renvoient plutôt aux travaux de Nash (1950c). Son objectif n'était pourtant pas de définir une fonction de bien-être social, mais plutôt d'apporter une solution à un problème de négociation entre deux individus²². En la généralisant à s personnes, la solution de Nash peut être interprétée comme une fonction de bien-être sociale multiplicative (Luce et Raiffa, 1957) :

$$W = (U_1 - U_{1*}) \cdot (U_2 - U_{2*}) \dots (U_s - U_{s*})$$

21. La fonction de bien-être utilitarienne classique, appelée aussi fonction de bien-être social de Bentham, est égale à la somme pondérée des utilités

$$W = a_1 U_1 + a_2 U_2 + \dots + a_s U_s$$

les pondérations $a_i > 0$ indiquant l'importance de l'utilité de chaque agent dans le bien-être social.

22. Les applications de la section 4.5 traitent plus en détail des travaux de Nash en théorie des jeux et de leurs applications à la décision publique.

L'utilité contenue dans la fonction de bien-être social est déterminée par rapport à une situation de *statu quo* (et non pas une situation de référence) dans laquelle $U_i = U_i^*$. Cette formulation est naturelle pour le problème de négociation posé par Nash (1950c) à l'origine : si la négociation n'a pas de solution, le *statu quo* est le résultat du jeu. Tous les gains du jeu sont alors mesurés par rapport à cette situation de *statu quo*. Les axiomes pour obtenir la fonction de bien-être social de Nash sont relativement peu nombreux : elle doit être cardinale, respecter le critère de Pareto, une propriété de non-contradiction α et une condition de symétrie :

Propriété α : Si x fait partie de l'ensemble des choix définis parmi l'ensemble des solutions possibles S , alors x fait partie de l'ensemble des choix de tous les sous-ensembles de S auquel il appartient (Sen, 1969)

Condition de symétrie : Si une version abstraite d'un jeu de négociation place les joueurs dans une situation totalement symétrique, la valeur arbitrée atteindra celle des utilités marginales gagnées, où l'utilité est mesurée dans une unité qui rend le jeu symétrique (Luce et Raiffa, 1957, p.127)

Critiques et généralisations La solution présentée par Nash au problème de la négociation a été présentée plus comme une description de ce qu'était le résultat du jeu que comme une prescription de ce que devrait être le résultat. Néanmoins, la délimitation des gains à partager est sensible au choix du point représentant le *statu quo*. En accordant un rôle primordial au *statu quo*, la fonction de bien-être social de Nash s'est exposée à la critique, émise par Sen (1970a), d'être une construction purement normative. Par ailleurs, il est possible de définir la situation de *statu quo* différemment : si celui-ci est perçu comme la répartition initiale des droits, on aboutit alors au théorème de Kaneko et Nakamura (1979), qui reprend la fonction de bien-être social de Nash, mais dans laquelle le s -uplet $(U_1^*, U_2^*, \dots, U_s^*)$ ne se définit plus comme la situation de *statu quo* mais comme le pire état possible imaginable pour un individu. Enfin, une forme plus générale de la fonction de bien-être sociale multiplicative a été proposée par DeMeyer et Plott (1971) : les auteurs utilisant des ratios d'utilité pour mesurer les différentiels d'intensité (utilité relative) et en déduire une fonction de bien-être social du type :

$$W = U_1^K \cdot U_2^K \dots U_s^K$$

où K est un nombre réel.

1.3.6 Discussions et rôle de la valorisation monétaire dans la CBA

Cette section a montré qu'il était possible, à partir d'axiomes basiques de l'action, de trouver des fonctions additives ou multiplicatives de bien-être social. Une question pourrait être de savoir laquelle choisir, et pour quelles situations. Dans les deux cas, il a été nécessaire de supposer que leurs arguments sont d'une forme cardinale, que les utilités individuelles sont comparables, et que les institutions politiques sont connues et font partie des choix possibles. Ces deux types de fonction de bien-être social satisfont à la fois le postulat de Pareto et le critère d'anonymat. En revanche, chaque type diffère de l'autre pour d'autres propriétés axiomatiques.

Si les fonctions de bien-être social sont utilisées comme instrument analytique pour un décideur public, en connectant les U_i et en les maximisant, alors elles consistent à donner à un tiers le pouvoir de prendre des décisions pour l'ensemble de la société. Dans ce cadre, la question est de savoir comment les utilités U_i sont mesurées et quels arbitrages sont possibles entre les utilités individuelles. Les contraintes pesant sur ces choix, afin que le bien-être des individus ne soit pas réduit au profit d'autres membres de la société (ce qui apparaît dans les fonctions multiplicatives de bien-être social), présentent également un intérêt majeur.

Une autre manière de voir les fonctions de bien-être social est de les concevoir comme des repères pour la rédaction des Constitutions, c'est-à-dire de l'ensemble des règles qui permettent à la société de prendre des décisions collectives. Si l'on considère que ces règles sont choisies par des individus égoïstes, en situation d'incertitude concernant leur position future, le choix n'est alors plus impersonnel, mais intrapersonnel. L'individu doit choisir des règles qui maximisent son propre bien-être étant donné qu'il n'est pas certain de sa position. Dans ces conditions, une fonction de bien-être social additive semble appropriée si les choix individuels ont tendance à être faits en comparant les niveaux d'utilité à différentes périodes du temps.

Le contexte dans lequel la fonction de bien-être social doit être utilisée pose aussi la question de savoir comment les utilités cardinales devront être mesurées. L'analyse coûts-bénéfices, par exemple, a choisi d'attribuer à chaque conséquence identifiée de la décision à l'étude une valeur

monétaire. Ainsi, toutes ces conséquences peuvent être traduites en des scalaires, tous de la même unité, et c'est la somme (positive ou négative) de ces scalaires qui constitue le « *net social benefit* », critère de décision final de la CBA (voir le Chapitre 2). Cependant, les réticences des économistes à cette technique, et au concept d'utilité cardinale en général, proviennent de la crainte que certains bureaucrates soient en mesure de prendre ce prétexte pour distribuer les utilités et prendre des décisions à la place des individus. Cet argument est aussi soulevé plus généralement dans la justification institutionnelle même de la CBA au début des années 1970 aux États-Unis.

Enfin, la théorie des fonctions de bien-être social présentée ne cherche pas ici une formule d'évaluation des résultats sociaux que chaque individu pourrait appliquer pour parvenir à un résultat unique. La section précédente cherche plutôt une manière de conceptualiser le problème des décisions sociales, sur laquelle il serait possible de s'accorder et qui pourrait être utile pour parvenir à un accord sur les décisions sociales réelles.

Si on s'intéresse en particulier à la fonction de bien-être social de Harsanyi, les questions que l'on peut se poser pour évaluer le réalisme de sa démarche sont :

1. Peut-on imaginer que les individus acquièrent suffisamment d'informations sur les situations et la psychologie des autres individus pour qu'ils soient en mesure de procéder aux comparaisons entre individus que suppose cette démarche ?
2. Les individus peuvent-ils adopter une attitude impartiale à l'égard de tous les autres individus de la communauté et se mettre d'accord sur l'ensemble des pondérations (une attitude commune envers le risque) à accorder aux situations de divers individus lorsqu'il faudra prendre des décisions sociales ?

À une échelle locale au moins, dans une perspective de décision d'un Maire sur une politique à conduire pour améliorer la qualité de l'air par exemple, le processus que propose l'outil d'aide à la décision CoBAYe - décrit dans la Partie II - permet d'obtenir des réponses à ces questions : en effet, nous proposons entre autres un processus de décision concerté, dans lequel le collège d'acteurs - incluant le décideur - réfléchit à, et se prononce sur, tous les effets possibles de la politique publique, ce qui rend possible une explicitation des rationalités et des comportements

des acteurs concernés par la politique. C'est ensuite ce même collège d'acteurs qui se prononce sur les degrés de probabilité des différents effets envisagés, jusqu'à un certain horizon temporel, et sur l'utilité qu'ils en retirent. Deux éléments toutefois restent en question : d'une part l'outil que nous proposons ne garantit pas une « attitude impartiale à l'égard des autres individus » puisqu'un jeu d'acteurs peut au contraire concourir à adopter des comportements différents en fonction du degré de concurrence ou de menace d'un autre acteur par exemple ; d'autre part, seuls quelques acteurs concernés par la politique font partie du collège de décision et, même si ce processus peut se répéter plusieurs fois dans des configurations différentes et avec des acteurs économiques différents, il est évidemment peu probable qu'il puisse recenser les avis de « tous les individus de la communauté » : l'outil proposé n'apporte qu'un intermédiaire de concertation avec des acteurs volontaires et souhaitant participer au processus de décision.

1.4 Le problème de la décision en situation d'incertitude : comment faire quand on ne connaît pas tous les états possibles ?

La section 1.3 a présenté les principaux apports théoriques dans l'aide à la prise de décision collective. La section 1.4.1 va, quant à elle, montrer la différence entre l'incertitude probabiliste et l'incertitude radicale, notamment avec les apports de Knight (1921) et de Keynes (1937). Cette section a par conséquent pour but de présenter très brièvement les principaux apports de la théorie de la décision en situation d'incertitude probabiliste²³.

1.4.1 La distinction entre risque et incertitude

L'objectif de cette section est de montrer plus en détail les différences - et le cheminement qui a amené à ces différences - entre les concepts de *risque* et d'*incertitude*, tous deux nécessaires en théorie de la décision en situation d'incertitude (et en particulier utiles pour le Chapitre 5). La partie introductive montre comment l'application de ces concepts (ou du moins, l'application de leur interprétation) a fait l'objet de typologies dans la modélisation de la décision. Pour cela, et au vu des multiples types d'incertitude que peuvent transmettre cette discipline, nous

23. Cette section est adaptée de Moureau et Rivaud-Danset (2004).

proposons une définition et une présentation progressive des caractéristiques des concepts de risque et d'incertitude, en essayant de démontrer la nécessité de faire cette différence.

Le risque, ou l'incertitude probabiliste

Définitions Les économistes et les statisticiens font une distinction entre le risque et l'incertitude, ou plutôt les incertitudes. Il n'y a pas de consensus véritable quant au sens qui doit être associé à chacun d'entre eux mais on utilisera les termes de risque et d'incertitude dans cet ouvrage selon les définitions suivantes :

La définition de ce qui est incertain ne fait pas l'unanimité. Nous prenons dans ce manuscrit la définition de Guerrien et Gun (2012), qui reprend les définitions issues des travaux de Knight (1921) et de Keynes (1937) qui, eux-mêmes, différencient la notion de « risque » de celle d'« incertitude » proprement dite, aussi qualifiée d'incertitude radicale.

« Pour eux, il y a risque s'il est possible de dresser la liste de toutes les éventualités (les formes que peuvent prendre les états de la nature) et de leur attribuer une probabilité de réalisation, alors qu'il y a incertitude si l'une ou l'autre de ces conditions n'est pas vérifiée ».

Quand une situation est-elle qualifiée de risquée ? Knight (1921) utilise le terme de « risque » en ce sens que les états futurs sont des faits dans un monde certain - comme l'évolution de la météo ou les perturbations environnementales causées par la production humaine, l'innovation technologique ou l'innovation de produit. Toutefois, de tels faits ne sont pas parfaitement disponibles pour les humains. Les informations exprimées sont limitées, ce qui entraîne les humains à formuler des probabilités (c'est-à-dire le « risque ») sur leur occurrence.

Par ailleurs, dans le monde keynésien, le risque (que les keynésiens appellent aussi « incertitude ») découle de la contingence de l'attente d'une personne par rapport à celles des autres, ce qui engendre tout simplement une régression à l'infini. La distribution des risques n'est pas le résultat du développement du capital humain, des institutions, ou de la technologie, mais plutôt d'un rapport aux autres, comme l'écrit Keynes :

« Sachant que notre propre jugement individuel ne vaut rien ... nous nous efforçons de nous conformer avec le comportement de la majorité ou de la moyenne. » (Keynes, 1937, p. 144)

Ainsi, « l'incertitude » (entendue comme l'incertitude probabiliste, ou le risque) de Keynes est sur le hasard où le résultat dépend des opinions des autres sur la probabilité de ce hasard. Cela explique donc, au mieux, le comportement des foules, des bulles boursières, des cycles et, par conséquent, en fin de compte tout ce qui peut être inclus sous la notion de risque.

Le risque caractérise-t-il toute situation d'incertitude ?

Les premiers éléments qui témoignent de la nécessité d'un autre concept que celui du risque arrivent initialement lorsque l'on est en présence de situations pour lesquelles il n'est pas possible de définir des probabilités objectives. Ainsi, de façon très légère pour définir un univers incertain, Edwards (1954) utilise l'exemple suivant : « Il existe des propositions de scénarios du futur pour lesquelles il n'est pas possible d'associer une distribution de probabilité. Quelle est la probabilité que la proposition suivante soit vraie : immédiatement après avoir terminé la lecture de [ce manuscrit], vous allez prendre une pinte de bière ? La réponse n'est effectivement ni impossible ni certaine, donc elle devrait avoir une probabilité comprise entre 0 et 1 exclus, mais il est quand même impossible pour moi de trouver sa valeur, et même de trouver des règles qui permettent d'obtenir sa valeur. Cette proposition est donc considérée comme un cas d'incertitude plutôt que de risque. »

Toutefois, la nécessité d'un autre concept que le risque pour analyser une situation incertaine ne se limite pas à la difficulté d'attribution d'une probabilité, mais elle est également ancrée plus profondément dans le comportement même des acteurs qui sont au cœur de l'action ou de l'événement incertain. Frank Knight (1921) établit par exemple une distinction nette entre d'une part la « vraie » doctrine de la probabilité et, d'autre part, la théorie de la probabilité due à « l'ignorance ».

La vraie doctrine exprime « l'incertitude » en ce sens que les états futurs ne sont pas des faits parce que les acteurs économiques *agissent de façon innovante ou créative*. Ainsi, l'incertitude

au sens de Knight implique que l'action créative rend l'agent incertain quant à l'ampleur de sa « propre aptitude »²⁴. En effet, pendant que l'agent économique tente de définir l'ampleur de son aptitude propre, celle-ci se développe également dans un processus dynamique. Un tel processus d'auto-définition est à la base de ce que Herbert Simon (1976a) appelle « rationalité procédurale » par opposition à la « rationalité substantive » d'inspiration néoclassique²⁵, ou ce que Shaun Hargreaves Heap (1989) appelle la « rationalité expressive », par opposition à la « rationalité instrumentale »²⁶ d'inspiration néoclassique également (Stewart, 1995). L'incertitude au sens de Knight semble donc représenter une incertitude quant à la capacité - ou l'aptitude - propre²⁷, car celle-ci est sujette à un développement créatif à mesure que l'agent économique essaie de la définir.

Par ailleurs, un autre élément pour lequel Knight souhaite identifier un concept différent de celui de risque est qu'il n'est pas toujours possible de classer des événements : avant même de chercher à attribuer une valeur de probabilité à ces événements, il n'est parfois pas possible de les identifier eux-mêmes. L'incertitude dégénère en « risque certain » quand elle est traitée comme une estimation subjective, ou non-mesurable d'une situation unique dans laquelle il n'existe pas de classification possible (Knight, 1921). La théorie de la probabilité subjective, dans la tradition de Leonard Savage (1954), a montré avec succès que la notion d'estimation du risque subjectif peut être transformée en risque objectif. En effet, la transformation est possible grâce à un apprentissage bayésien qui classe une situation unique en une classe plus générale²⁸.

24. Le terme *self-ability* est employé par Knight (1921).

25. Par opposition à la rationalité procédurale, la rationalité substantive prévaut que le plus important est le résultat, alors qu'il n'est pas toujours atteint de manière fiable à travers le processus de décision. Les coûts de délibération doivent donc être envisagés et minimisés. Ainsi, des solutions simples et pragmatiques seront préférables à celles issues d'une délibération formelle.

26. La « rationalité expressive » ou « non-instrumentale » selon Heap (1989), que Horkheimer (1974) appelle aussi « rationalité objective », est la réflexion sur les objectifs de chacun, dans le but d'essayer d'identifier quelles préférences il faut envisager et conserver dans la décision. En revanche, la « rationalité instrumentale » (ou la « rationalité subjective », selon Horkheimer (1974)), envisage uniquement les moyens et les buts, en prenant plus ou moins pour acquis le fait que les procédures pour atteindre ces buts sont adéquates.

27. Knight (1921) écrit *self-ability*.

28. Pour illustrer cette transformation, on peut prendre la distinction que fait Ikeda (1990) entre « l'ignorance radicale » et « l'ignorance rationnelle ». Prenons l'exemple d'un touriste dans une ville qu'il découvre pour la première fois. Il n'y a pas de classification possible si cet agent économique ne cherche pas où se trouve l'Office de Tourisme car il n'a jamais entendu parler de ce service. En revanche, un agent économique informé peut quant à lui décider de ne pas chercher où se trouve l'Office de Tourisme car il ne reste dans cette ville qu'un jour. Pour Ikeda, ces deux situations n'appartiennent pas à la même classe. En effet, il appelle la première catégorie une situation d'ignorance radicale, alors que la deuxième est dans une situation d'ignorance rationnelle. Toutefois, pour Khalil (1997), ces deux situations ne sont pas si différentes à y regarder de plus près. L'ignorance radicale peut

Par conséquent, dans la mesure où elle est différente de celle du risque, il faut conserver la notion d'incertitude à l'écart de l'estimation des événements uniques comme la probabilité de l'effondrement d'un immeuble nouvellement conçu ou l'échec d'une nouvelle technologie de téléphone.

Afin d'utiliser un vocabulaire le plus clair possible, la figure 1.1, adaptée de (Khalil, 1997), représente une classification des différents phénomènes liés au risque et à l'incertitude.

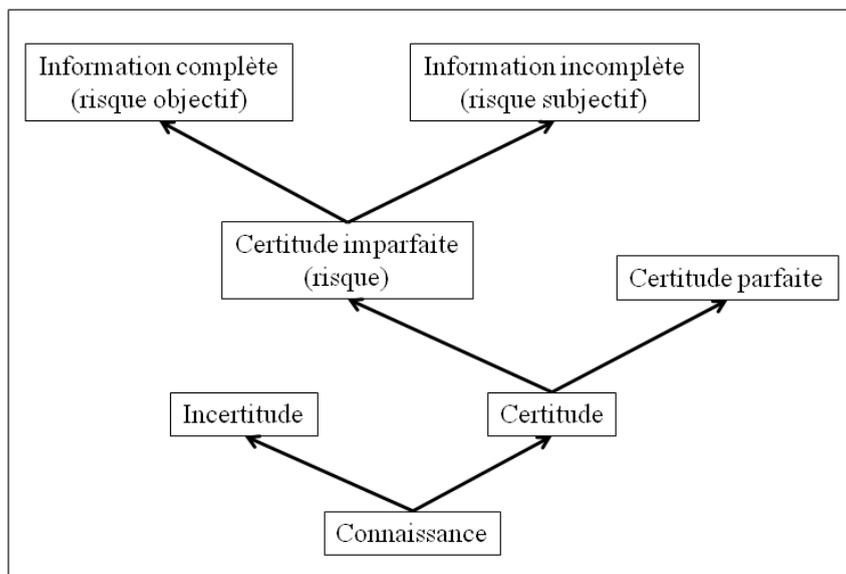


FIGURE 1.1 – Classification des différents types de situation liés à l'incertitude et au risque selon Khalil (1997)

être transformée en ignorance rationnelle si on étend le champ de classification possible, par exemple en incluant la décision de ne pas chercher une information officielle quand il est possible de demander à un individu sur la rue comment aller d'un point *A* à un point *B*. En effet, le touriste n'a pas forcément besoin d'avoir connaissance de tous les services que peut offrir la ville dans laquelle il se trouve. En étendant les définitions des classes en catégories plus générales, il peut également avoir accès à l'information.

La figure 1.1 met en opposition les situations d'« incertitude » et de « certitude », et restreint le terme « certitude » aux situations de « certitude parfaite » et de « certitude imparfaite » (c'est à-dire « de risque »). À nouveau, il y a deux types de certitude imparfaite :

1. l'« information incomplète », qui décrit l'évaluation du « risque subjectif » et qui repose sur l'ignorance. L'évaluation de risque subjectif n'intervient pas à cause d'un manque d'information, mais plutôt parce que le gain marginal d'une recherche d'information future est inférieur au coût marginal de cette même recherche.
2. l'« information complète », qui décrit l'évaluation du « risque objectif » reposant sur des distributions statistiques *a priori*. L'évaluation de « risque objectif », comme dans le cas des loteries, n'intervient pas à cause des coûts de recherche d'information (qui sont nuls), mais plutôt à cause du caractère stochastique des événements qui ont une probabilité connue *a priori* d'occurrence (Khalil, 1997).

L'incertitude

L'incertitude liée au manque ou à la limite de connaissances

Premiers éléments liés aux profits que peut engendrer la connaissance Avant de revenir aux auteurs fondateurs de la distinction entre *risque* et *incertitude*, il nous a semblé important de présenter les distinctions faites d'un point de vue appliqué au marché pour un décideur individuel et pour la société. Par exemple, en ce qui concerne le concept d'incertitude, Faber et Proops (1993) différencient une incertitude liée à un déficit de connaissances propre à l'individu et une autre liée à l'absence totale de connaissance au sein de la communauté de l'ensemble des individus.

L'entrepreneur Le premier type d'incertitude est abordé, notamment dans les travaux de Kirzner (1963) sur l'entrepreneur. En effet, celui-ci est un agent qui existe et qui obtient des profits grâce à l'absence de connaissances d'autres individus sur les conditions du marché. Il détient par conséquent une connaissance que d'autres agents de l'économie ne possèdent pas. Dans cette approche, l'incertitude est donc vue comme un élément réductible, à l'échelle de la communauté, par le jeu de la connaissance de la science des échanges. Le profit vient ainsi récompenser l'entrepreneur qui, par son action, réduit l'incertitude à laquelle sont soumis les autres agents de l'économie (Kirzner, 1963, 1998).

La société Dans la deuxième approche, l'incertitude est vue comme un élément modifiable par le jeu de l'accroissement de l'innovation (Schumpeter, 1934) ou de la connaissance scientifique (Popper, 1959). Cette seconde approche de l'incertitude est un élément du débat entre le libre arbitre et le déterminisme dans le processus de prise de décision de l'individu (Rothbard, 1991; Hodgson, 1996). En effet, dans cet axe de recherche, les économistes affirment que si tout est déterminé, c'est-à-dire s'il n'y a pas d'incertitude, alors la liberté de choix de l'individu n'existe pas (Shackle, 1967; Lachmann, 1978). Par ailleurs, dans ce cadre, l'incertitude est un élément non-quantifiable : si l'on parvient effectivement à délimiter le champ de son ignorance, cela signifie que l'on sait ce dont on est ignorant, autrement dit cela signifie que l'on n'est pas ignorant. Par conséquent, toute nouvelle connaissance résultant d'un processus d'innovation et de production de connaissances scientifiques ne fait qu'accroître le stock de connaissances des individus. La nouvelle connaissance offre alors de nouvelles opportunités d'agir et modifie ainsi ce sur quoi l'incertitude peut porter, mais elle ne réduit pas l'incertitude (Moroz, 2005).

La distinction entre le risque et l'incertitude pour Knight (1921)

Le parallèle entre la mécanique et la biologie Knight fait souvent un parallèle entre les cadres d'analyse de la mécanique et de la biologie : en mécanique, le comportement humain et des institutions est statique, les entités sont analogues à des machines, alors qu'en biologie, les notions de changement et de processus sont plus prisées. La connaissance parfaite dans le domaine mécanique contraste avec l'imperfection de la vie organique, ce qui fait ressortir l'importance de la conscience (Langlois et Cosgel, 1993). Pour Knight, dans les situations d'incertitude, « l'organisation interne des groupes productifs n'est plus une question d'indifférence ou un détail mécanique. La centralisation de cette fonction de décision et de contrôle est impérative, un processus de « *cephalization* », comme celui qui a pris place dans l'évolution de la vie organique, est inévitable et ce, pour les mêmes raisons que dans le cas de l'évolution en biologie. » (Knight, 1921, pp. 268-9).

Pourquoi une incertitude ? De l'avis de Knight, l'incertitude découle donc de notre connaissance partielle. « L'essence de la situation, c'est l'action d'après l'*opinion*²⁹, de fondation et valeur

29. En italique dans le texte.

plus ou moins grandes, ni une ignorance entière, ni une information complète et parfaite, mais une connaissance partielle » (Knight, 1921, p.199, traduction de l'anglais)³⁰. La question clé, cependant, est de savoir ce que signifie le caractère partiel de la connaissance. Implique-t-elle que les probabilités ne sont pas mesurables ou sont subjectives, ou impliquent-elles autre chose ? Selon Langlois et Cosgel (1993), l'utilisation que fait Knight de la connaissance partielle révèle que la distinction qu'il fait entre le risque et l'incertitude a plus à voir avec la *classification initiale aléatoire* des résultats qu'avec le fait de pouvoir ou non attribuer des probabilités aux résultats.

Classer les états de la nature La principale préoccupation de Knight était relative à la possibilité de classer les « états de la nature ». « Quand notre ignorance de l'avenir n'est qu'une ignorance partielle, une connaissance incomplète et une conclusion imparfaite, il devient impossible de classer des propositions de façon objective » (Knight, 1921, p.259, traduction de l'anglais)³¹. Ainsi l'argument n'est pas tant qu'il n'est pas possible de *connaître des probabilités* mais plutôt qu'il n'est pas possible de *classer des résultats*. Par conséquent, la distinction entre le risque et l'incertitude surgit non pas car il n'y a pas de fondement pour l'attribution de probabilités, mais parce qu'« il n'y a aucun fondement valable pour aucune méthode de classement de proposition quelle qu'elle soit » (Knight, 1921, p.225, traduction de l'anglais)³².

Identifier les états de la nature Ainsi, l'incertitude selon Knight relève non pas du fait qu'il n'est pas possible de connaître les probabilités d'occurrence de certains états de la nature, mais plutôt qu'il n'est pas possible d'*identifier* de façon exhaustive ces états de la nature eux-mêmes. L'incertitude n'est pas uniquement due à l'aléa moral ou à la sélection adverse comme le supposaient Barzel (1987) ou encore LeRoy et Singell (1987). En effet, dans les modèles néoclassiques qui représentent ces phénomènes, les biens destinés à être produits sont donnés, et tous les producteurs et consommateurs sont d'accord à la fois sur leur existence et sur leur nature. Même lorsque certains participants du marché ont plus d'informations sur certains produits que n'en ont les autres, ils partagent néanmoins les mêmes catégories conceptuelles sur les produits. Ce n'est pas le cas de l'incertitude de Knight : pour lui, dans une situation d'incertitude, certaines

30. « The essence of the situation is action according to *opinion*, of greater or less foundation and value, neither entire ignorance nor complete and perfect information, but partial knowledge » (Knight, 1921, p.199).

31. « *When our ignorance of the future is only partial ignorance, incomplete knowledge and imperfect inference, it becomes impossible to classify instances objectively* » (Knight, 1921, p.259)

32. « *there is no valid basis of any kind for classifying instances* » (Knight, 1921, p.225)

catégories-mêmes de produits ne pourraient pas être définies de façon exhaustive (Langlois et Cosgel, 1993). La citation suivante éclaircira plus l'argument précédent. Knight (1921) écrit :

« Rester fidèle à la psychologie réelle de la situation exige, nous devons insister, que nous reconnaissons ces deux exercices de jugement distincts : la formation d'une estimation et l'estimation de sa valeur. Nous devons, par conséquent, montrer notre désaccord avec l'affirmation du professeur Irving Fisher qu'il y a seulement une estimation, le sentiment subjectif de la probabilité elle-même »³³

Knight affirme donc que ces deux jugements sont deux entités différentes :

1. *La formation d'une estimation.* Il semblerait que la première soit de nature qualitative. Cette opinion n'est pas une estimation d'une probabilité, mais plutôt une enquête menée pour *identifier* les effets probables d'une action. Lorsqu'un décideur est dans une situation d'incertitude (à entendre comme une situation dans laquelle « il n'y a aucun fondement valable pour aucune méthode de classement de proposition quelle qu'elle soit »), il doit au préalable faire une « estimation » des résultats possibles de son action avant d'être en mesure de faire une « estimation » des possibilités d'occurrence de chacune d'entre elles. Cette première étape nécessite donc du jugement et de l'intuition plutôt que du calcul.
2. **L'estimation de sa valeur.** Knight établit également de façon claire que la deuxième estimation fait intervenir des probabilités³⁴.

« Il est néanmoins vrai, et on ne saurait trop insister sur ce fait, qu'il y a effectivement un jugement de probabilité dans ces cas [c'est-à-dire, dans des situations d'incertitude]. L'homme d'affaires ne fait pas simplement la meilleure estimation possible de l'issue de ses actions, mais il est probable également qu'il

33. « *Fidelity to the actual psychology of the situation requires, we must insist, recognition of these two separate exercises of judgment, the formation of an estimate and the estimation of its value. We must, therefore, disagree with Professor Irving Fisher's contention that there is only one estimate, the subjective feeling of probability itself* » (Knight, 1921, p. 227).

34. Il est à noter qu'en analysant la distinction de Knight entre le risque et l'incertitude de cette façon, c'est-à-dire la nature qualitative de la première estimation et la nature probabiliste (subjective) de la deuxième, la controverse sur l'interprétation de l'incertitude comme une situation dans laquelle il est impossible d'associer des probabilités est plus claire : certes, il est impossible d'associer des probabilités, mais l'incertitude va bien au-delà de ça puisqu'il est même impossible de définir ce sur quoi on souhaite associer des probabilités d'occurrence.

cherche à estimer la probabilité pour que son estimation soit correcte. » (Knight, 1921, p.226)³⁵.

Pour LeRoy et Singell (1987), le passage précédent montre que Knight avait envisagé des probabilités subjectives mais, même si cette conclusion est vraie, le passage signifie surtout que Knight définit deux exercices de jugement différents, et qu'il met l'accent sur la situation « en amont », c'est-à-dire celle qui prévaut avant de chercher à associer des probabilités. La subjectivité, l'objectivité ou encore l'applicabilité des probabilités n'est que d'importance secondaire une fois que les catégories ont été « estimées ».

L'objectif de la démonstration de Knight. Enfin, pour replacer ces définitions dans leur contexte, cette distinction était importante pour Knight car elle permettait d'expliquer le comportement des organisations et des firmes en fonction des situations d'incertitude dans lesquelles elles se trouvaient. En effet, lorsque les catégories de connaissance sont elles-mêmes inconnues (c'est-à-dire en situation d'incertitude pour Knight), celles-ci ne peuvent pas être une base sur laquelle il peut y avoir un accord entre plusieurs parties et un échange de marché. Dans des situations de risque, des catégories telles que « la maison brûle » ou « la maison ne brûle pas » peuvent être partagées par les différents agents économiques, et ceux-ci peuvent trouver un accord entre eux sur la transaction qui fait intervenir ces catégories. Cela permet aux marchés (entendus comme de simples contrats arbitrés par un prix) de fonctionner correctement. Cependant, lorsque les catégories sont inconnues, le mécanisme d'information parcimonieuse du marché ne peut plus fonctionner. C'est ce qui amène Knight à penser que les firmes remplacent le marché³⁶. À cause de la nature non-mécanique de la vie économique, de nouvelles possibilités sont toujours émergentes, et celles-ci ne peuvent pas être catégorisées d'une façon intersubjective telle que des circonstances qui se répètent. Du fait de cette « incertitude » (au sens de Knight), chacun ne

35. « *Yet it is true, and the fact can hardly be overemphasized, that a judgment of probability is actually made in such cases. The business man himself not merely forms the best estimate he can of the outcome of his actions, but he is likely also to estimate the probability that his estimate is correct* »(Knight, 1921, p.226)

36. Dans ce contexte, pour Knight et toujours en faisant un parallèle entre la mécanique et la biologie, la différence fondamentale entre le risque et l'incertitude et le fait que, en situation d'incertitude, les firmes sont sujettes à une « *cephalization* », en ce sens qu'elles assignent à certains individus une position de dirigeant en fonction de leurs aptitudes (cette théorie de la division du travail aboutira à la théorie des organisations de Knight) (Knight, 1921, p.271).

peut se fier qu'à son jugement. La capacité de faire de tels jugements est donc une des aptitudes dans lesquelles se spécialisent certains individus.

Discussions

La présence de ce type d'incertitude est une des raisons pour lesquelles l'analyse selon l'outil d'aide à la décision CoBAYe, qui est présenté dans les parties II et III, s'arrête au moment où cette incertitude est atteinte. L'aptitude de pouvoir faire un jugement est du ressort du décideur public (ou privé), qui a été élu (ou désigné) pour de telles circonstances. CoBAYe permet donc de mener une évaluation économique sur les catégories d'états de la nature dont on a connaissance jusqu'à un certain horizon temporel. Toutefois, arrivé à celui-ci, poursuivre l'évaluation n'est plus pertinent, et c'est le décideur qui utilise ces informations et son jugement (ou son intuition) pour faire des choix.

Par ailleurs, nous sommes donc en mesure de différencier, notamment à la suite de la typologie introduite par Knight (1921), le concept de risque de celui d'incertitude³⁷. En effet :

- Le risque renvoie quant à lui à une situation où l'univers des possibles peut être défini. Il est alors mesurable et appréhensible en utilisant des concepts de fréquence et de probabilité (Knight, 1921; Keynes, 1937).
- En revanche, l'incertitude réfère à une situation où l'ensemble des possibles n'est pas défini, et ne peut donc pas être quantifié. Ainsi, le concept d'incertitude radicale ne signifie pas que le futur ne peut être imaginé, mais que le futur ne peut pas être connu avant que ne soit venu son temps (Lachmann, 1978). Nous proposons ainsi de terminer par la plume de Keynes :

« Il me faut expliquer que, par l'expression de connaissance « incertaine », mon intention n'est pas simplement de distinguer ce qui est su avec certitude de ce qui est seulement probable. Le jeu de la roulette n'est pas sujet à l'incertitude, en ce sens, ni la perspective de tirer un bon numéro au loto. Ou encore, l'espérance de vie n'est soumise qu'à une légère incertitude. Même le temps qu'il fait n'est que modérément incertain. Le sens dans lequel j'utilise ce terme est celui selon lequel la

37. Cette typologie est utilisée et amendée dans le Chapitre 5 pour définir les types de sources d'incertitude dont souhaite tenir compte l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

perspective d'une guerre européenne était incertaine, ou encore le prix du cuivre et le taux d'intérêt dans vingt ans, ou la date d'obsolescence d'une invention nouvelle [car, e]n ces matières, il n'y a pas de fondement scientifique sur lequel on puisse formuler, de façon autorisée, quelque raisonnement probabiliste que ce soit. Nous ne savons pas, tout simplement. » (Keynes, 1990, p.144, à titre posthume)

1.4.2 Le modèle de l'utilité espérée : Bernoulli, Von Neumann et Morgenstern

L'utilité espérée et le paradoxe de Saint-Pétersbourg

La notion de l'utilité espérée est apparue en réponse au paradoxe de Saint-Pétersbourg soulevé par un jeu de hasard. Elle a alors donné son nom au modèle de décision en univers risqué, appelé modèle de l'utilité espérée (UE). Le paradoxe de Saint-Pétersbourg se résume à la question suivante : pourquoi, alors que mathématiquement l'espérance de gain est infinie à un jeu, les joueurs refusent-ils de jouer tout leur argent ? Il s'agit donc non d'un problème purement mathématique mais d'un paradoxe du comportement des êtres humains face aux événements d'une variable aléatoire dont la valeur est probablement petite, mais dont l'espérance est infinie. Dans cette situation, la théorie des probabilités dicte une décision qu'aucun acteur rationnel ne prendrait. Pour résoudre ce paradoxe, Daniel Bernoulli (1738), dans les *Transactions de l'Académie de Saint-Petersbourg*, a proposé de calculer l'espérance de l'utilité des gains et non pas l'espérance des gains, c'est-à-dire le résultat directement obtenu par le calcul mathématique. Il s'est appuyé sur un jeu de hasard présenté ici sous une forme légèrement adaptée :

Un joueur lance une pièce de monnaie aussi longtemps que *face* apparaît et s'arrête dès qu'il obtient *pile*. Si pile sort dès le premier coup, le joueur reçoit deux ducats³⁸. Si pile ne sort qu'au deuxième coup, il reçoit 2^2 ducats et, si pile ne sort qu'au n -ième coup, il reçoit 2^n ducats.

Le problème consiste à évaluer le montant du droit d'entrée maximal qu'un individu rationnel est prêt à payer pour participer à ce jeu. Un mathématicien proposerait pour l'évaluer

38. Le ducat, initialement une pièce d'or frappée dès le *XIII*^{ème} siècle, est une ancienne monnaie dont le nom vient de l'italien « *ducato* », l'étymologie indiquant qu'il s'agit d'une monnaie à l'effigie d'un duc. Le plus souvent, et notamment au *XVIII*^{ème} siècle, on parle de ducat lorsqu'on évoque la monnaie d'or du doge de Venise.

de chercher l'espérance du gain $E(G)$, c'est-à-dire ce que le joueur peut gagner en moyenne. Dans cette hypothèse, le joueur serait donc disposé à payer un droit d'entrée d'un montant égal à :

$$E(G) = \frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{2^2} \cdot 2^2 + \dots + \frac{1}{2^n} \cdot 2^n = 1 + 1 + \dots + 1 \dots$$

Le nombre de coups de la partie n'étant pas limité, l'espérance de gains est infinie. Or, Bernoulli a constaté que la plupart des joueurs n'acceptaient de verser qu'un montant très faible pour participer à ce jeu bien que son espérance de gain soit infinie. Pour résoudre ce paradoxe, il a proposé de prendre en compte l'utilité associée aux différents gains plutôt que de considérer leur espérance mathématique. En effet, le joueur compare le coût de participation au jeu avec ce que le jeu est susceptible de lui rapporter. Or son utilité marginale est décroissante et l'utilité d'un gain hypothétique de 2^n par rapport à 2^{n-1} lorsque n est grand est très minime, en raison d'une part de l'effet de richesse mais aussi et surtout de l'aversion au risque. Cette solution, qui consiste à passer par *la satisfaction procurée par un gain* plutôt que par le *gain* lui-même, est un des fondements du modèle d'espérance d'utilité. Ainsi, utiliser la solution préconisée par Bernoulli transforme le jeu de Saint-Pétersbourg selon l'équation suivante :

$$E(U(G)) = \frac{1}{2} \cdot U(2) + \frac{1}{2^2} \cdot U(2^2) + \dots + \frac{1}{2^n} \cdot U(2^n) + \dots$$

Afin d'exprimer la décroissance de l'utilité marginale, Bernoulli a suggéré de prendre la fonction logarithme (*Log*) pour représenter l'utilité, ce qui permet d'obtenir une suite dont la somme est bornée et égale à $\text{Log}(4)$. le caractère paradoxal des joueurs disparaît ainsi si l'on admet que ceux-ci procèdent à un traitement non-linéaire des résultats, ce que permet la notion d'utilité.

Les axiomes de Von Neumann et Morgenstern (1944)

Les fondements axiomatiques du modèle de l'utilité espérée ont été établis beaucoup plus tard par Ramsey (1931) et surtout par John Von Neumann et Oskar Morgenstern.

Les axiomes sont des contraintes logiques nécessaires à la construction du modèle. Différents axiomes (préordre total, continuité, indépendance) ont été introduits par Von Neumann et Morgenstern pour passer du choix ponctuel à une fonction de choix continu et permettre que la

fonction d'utilité obtenue retranscrive le même ordre que les préférences individuelles. Comme toutes les axiomatiques, celle de Von Neumann et Morgenstern (1944) a aussi une dimension normative : elle définit la façon dont les individus doivent formuler leurs choix. Le but de la théorie de l'utilité espérée est de produire une fonction « d'utilité » U qui satisfait « l'hypothèse d'utilité espérée », c'est-à-dire qu'une alternative a sera préférée à une variante b si et seulement si l'utilité espérée de a est plus grande que celle de b . Von Neumann et Morgenstern (1944) ont démontré qu'une telle fonction existe pour un problème de décision à un seul critère à condition qu'un petit nombre d'axiomes superficiellement raisonnables sont satisfaits :

1. **L'hypothèse de réflexivité**, qui indique que la relation qui lie certains couples d'éléments d'un ensemble est vérifiée si ces deux éléments sont identiques. Mathématiquement, la relation de réflexivité R peut s'écrire :

$$\forall a \in X, aRa,$$

et en particulier, pour la relation \prec , on a :

$$\forall a \in X, a \prec a$$

ce qui signifie que tout élément de l'ensemble X est inférieur à lui-même (la relation est évidente pour un entier ou un réel par exemple).

2. **L'hypothèse de complétude**, qui signifie qu'un individu a des préférences bien définies et peut toujours être en mesure de décider entre deux variantes. Mathématiquement, l'axiome d'exhaustivité s'écrit :

$$\text{Pour tous } A \text{ et } B, \text{ soit } A \succ B, \text{ soit } A \prec B,$$

cela signifie que l'individu préfère A à B , ou est indifférente entre A et B , ou qu'il préfère B à A .

3. **L'hypothèse de transitivité**, qui prolonge l'axiome de complétude en faisant l'hypothèse que les individus adoptent un « raisonnement cohérent ». Elle s'écrit mathématiquement :

$$\forall A, B \text{ et } C, \text{ si } A \prec B \text{ et si } B \prec C, \text{ alors on a forcément } A \prec C$$

4. **L'hypothèse de continuité**, qui signifie que dans le cas de trois choix A , B et C et dans le cas où un individu préfère A à B et B à C , alors il existe une combinaison de A et de C telle que l'individu est indifférent entre cette combinaison et le choix B , ce qui s'écrit mathématiquement :

$$\forall A, B \text{ et } C, \text{ si } A \prec B \prec C, \text{ alors } \exists p \text{ tel que } B = pA + (1 - p)C, \text{ avec } 0 \leq p \leq 1$$

5. **L'hypothèse d'indépendance**. Elle s'écrit :

$$\forall A, B \text{ et } C, \text{ si } A \prec B \text{ alors } \forall t \in [0, 1], \text{ on a } tA + (1 - t)C \prec tB + (1 - t)C$$

Le critère d'indépendance, qui suppose également des préférences bien définies, fait l'hypothèse que deux choix auxquels on en mélange un autre dans les mêmes proportions conserve le même ordre de préférence que lorsque les deux sont présentés indépendamment du troisième.

Quelques limites. Ces cinq axiomes constituent le fondement de la théorie de l'utilité espérée subjective. Toutefois, dans un délai relativement court, un certain nombre de violations systématiques de ces axiomes, en particulier l'indépendance, ont été constatés (par exemple les célèbres paradoxes de Allais (1953b) et de Ellsberg (1961) (voir section 1.5.2). Finalement, il est maintenant un fait bien établi que l'utilité espérée subjective ne décrit pas adéquatement les choix des individus, dans le sens où une proportion importante des individus enfreignent un ou plusieurs de ces axiomes au moins pendant une partie du temps.

Parmi les axiomes qu'ils introduisent, celui d'indépendance a un statut particulier. Il pose que l'ordre des préférences entre deux loteries³⁹ L_1 et L_2 restera le même si chacune de ces deux

39. Dans le modèle de l'utilité espérée (Von Neumann et Morgenstern, 1944; Savage, 1954), la loterie la plus simple comprend deux lots auxquels sont associées deux probabilités dont la somme doit être égale à 1. On peut

loteries initiales est combinée dans une même proportion avec une troisième L_3 . Contrairement aux attentes de Von Neumann et de Morgenstern, cette opération n'est pas triviale : en effet, combiner une loterie avec une autre est une opération très différente de l'addition de deux variables, en particulier si les montants en jeu sont très élevés. Elle peut conduire les personnes à réviser l'ordre de leur préférence, comme l'ont montré de nombreux travaux expérimentaux (voir section 1.5.2).

1.4.3 L'extension du modèle aux situations d'incertitude : Savage et les probabilités subjectives

Le modèle d'utilité espérée de Von Neumann et Morgenstern (1944) propose une théorie de la décision qui est qualifiée de risquée parce que les probabilités utilisées dans le modèle sont objectives. Les travaux théoriques pionniers de Savage (1954) ainsi que ceux de Anscombe et Aumann (1963) ont étendu le modèle de décision de l'utilité espérée (UE) à l'ensemble des situations incertaines, en introduisant le concept de *probabilité subjective*. La règle de décision demeure la maximisation de l'utilité espérée comme dans le modèle de l'UE mais la conception du modèle et l'axiomatique ne sont pas les mêmes. Par ailleurs, l'utilisation de probabilités subjectives pose un nouveau problème au théoricien : celui de leur connaissance.

Les probabilités subjectives

Dans la seconde moitié de $XX^{\text{ème}}$ siècle, l'essor des probabilités subjectives a ouvert de nouvelles possibilités à la modélisation des comportements en incertitude. Pour Savage et les néoclassiques, le comportement des individus, dans n'importe quel contexte d'incertitude, est maintenant capable d'être modélisé. En effet, en faisant de toute probabilité une croyance, Savage rend caduque la distinction entre risque et incertitude et le modèle « *Subjective Expected Utility* » (SEU) de Savage englobe celui de l'utilité espérée de Von Neumann et Morgenstern. Pour Moureau et Rivaud-Danset (2004), l'argumentation de Savage peut s'illustrer ainsi : même dans le cas d'un jeu de dé, où assigner une loi de probabilité apparaît simple, cette apparence est conditionnelle. Le joueur présume que le dé n'est pas pipé, une condition dont il ne peut pas être certain. Autrement

la noter comme un couple de deux couples (probabilités, conséquences) : $L = [(prob_1, c_1), (prob_2, c_2)]$ où les $prob_i$ sont les probabilités d'occurrence d'un événement et les c_i ses « lots », *i.e.* ses conséquences.

dit, tout choix de distribution de probabilité est subjectif, donc toute décision prise sur la base d'une loi de probabilité l'est également.

La généralité du modèle de Savage tient à la double nature des probabilités subjectives, qui désignent à la fois :

1. les croyances que forment les êtres humains, chacun de leur côté, lorsqu'ils ont une connaissance imparfaite des probabilités objectives ou lorsqu'ils veulent intégrer des informations locales pour prévoir un phénomène de nature aléatoire ;
2. les probabilités qui sont de purs jugements sur l'occurrence d'un phénomène qui n'est pas récurrent, telle que la probabilité d'une catastrophe naturelle ou nucléaire dans les cinq prochaines années.

Savage privilégie la première acception, la deuxième orientant vers le concept d'incertitude radicale de Knight (1921).

Selon Savage, les probabilités subjectives sont personnelles mais, aujourd'hui, de nombreux microéconomistes prennent pour *a priori* que deux individus qui ont accès à la même information formeront nécessairement les mêmes probabilités subjectives. Toute différence dans les évaluations des probabilités subjectives ne peut donc qu'être le résultat de différences ayant pour origine l'information (Kreps, 1990). Cette hypothèse de modélisation, appelée indifféremment hypothèse des probabilités *a priori* communes ou doctrine Harsanyi, permet d'agréger aisément les comportements. Les probabilités subjectives s'analysent comme des copies, en information imparfaite des probabilités objectives, ce qui amène tout de même au paradoxe suivant : les économistes néoclassiques admettent parfaitement la diversité des goûts et des attitudes face au risque mais, avec la doctrine Harsanyi, ils refusent la diversité lorsqu'il s'agit de prévoir. Le postulat mis en évidence par la doctrine Harsanyi sert juste comme une méthode de calcul pour mener une évaluation, mais on peut légitimement se demander s'il faut la retenir.

Enfin, pour étendre le modèle UE, Anscombe et Aumann (1963) se focalisent sur les probabilités formulées individuellement qu'ils analysent comme des chances. Celles-ci peuvent avoir des valeurs connues et objectives comme dans un jeu de hasard, ou inconnues et subjectives comme dans une course de chevaux, mais ces dernières peuvent être révélées, comme peut

l'illustrer l'exemple suivant : s'il est indifférent à l'individu A de parier 1 euro sur le cheval 18 ou de parier 1 euro sur le rouge dans une loterie où la probabilité que sorte le rouge est connue (disons de $\frac{2}{3}$), alors la chance que le cheval soit gagnant est de $\frac{2}{3}$ pour l'individu A . Ainsi, suivant la même logique, tout individu peut traiter toute probabilité comme une chance et la quantifier en exprimant sa préférence entre des options virtuelles. Ce procédé très simple a bénéficié d'un grand succès pendant plusieurs décennies.

Quelques principes du modèle⁴⁰. En situation d'incertitude probabiliste, l'analyste recourt aux loteries, où les probabilités sont données, pour simuler la décision et il ne lui reste qu'à découvrir les utilités. En incertitude, pour Savage (1954), la décision ne s'analyse plus en termes de loteries, mais d'un nombre fini d'actes A_i et d'éventualités E_j possibles :

- les éventualités correspondent aux « états de la nature », ils sont exogènes, hors du contrôle de l'individu qui prend la décision et exhaustifs ; de plus, celui-ci est en mesure de faire une description exhaustive de tous les états possibles de l'environnement ;
- les actes sont les choix que le décideur peut prendre ;
- enfin, chaque couple (*éventualité, acte*) a alors une conséquence $c_{i,j}$ qui lui est directement associée. Elles sont bien sûr conditionnelles, puisqu'elles dépendent de la réalisation d'une état particulier de la nature.

Dans ce modèle, les probabilités d'occurrence des états de la nature et l'utilité de chaque conséquence sont d'une part à découvrir et d'autre part à présenter sous une forme quantifiée. La résolution de ce double problème de quantification comprend alors deux étapes (Runde, 2000) :

1. La quantification de l'utilité espérée. Pour cela, l'hypothèse faite est que la variation d'utilité est fixée à 1 si l'événement E_1 se réalise et à 0 dans les autres cas.
2. La révélation des probabilités concernant les états de la nature. Dans ce cas, le procédé proposé consiste à révéler les probabilités q par des préférences entre des options fictives, l'une étant certaine et l'autre incertaine : $q = \text{prob}_{(E_1)}(1) + [1 - \text{prob}_{(E_1)}](0)$

40. Seuls quelques principes du modèle de Savage sont présentés dans cette section ; le but étant uniquement de faire remarquer au lecteur qu'il existe des modèles permettant de traiter de l'utilité espérée. En particulier, le Chapitre 5 montre que l'incertitude, telle qu'elle est envisagée dans le modèle CoBAYe, tient compte du fait que certains acteurs peuvent avoir un raisonnement et une anticipation de leurs comportements fondés sur des probabilités subjectives de réalisation. Le but n'est alors pas nécessairement de les calculer, comme l'aurait fait le modèle de l'utilité espérée par exemple, mais plutôt de l'identifier et d'en tenir compte dans la détermination de l'horizon temporel d'évaluation des effets d'une décision (voir section 5.4.)

De plus, dans le modèle de Savage, les étapes sont présentées en se plaçant du point de vue de l'analyste qui voudrait *reconstituer* la procédure de décision, découvrir les paramètres utilisés par le décideur et ainsi, s'assurer que l'acte choisi est bien celui qui maximise l'utilité. Le décideur n'a pas à respecter ces étapes puisqu'il a en tête ses propres probabilités (subjectives). Sa décision est rationnelle, puisqu'il cherche à maximiser sa fonction d'utilité espérée. Comme celle-ci est calculée à partir de probabilités subjectives, la forme abrégée courante du modèle est SEU pour « *subjective expected utility* ».

Hypothèses sur le décideur Enfin, pour Savage, le décideur n'est pas partie intégrante du processus d'analyse et il fait de surcroît l'hypothèse que ses opérations cognitives, rationnelles, sont les suivantes :

1. Le décideur a connaissance de tous les choix qu'il est en mesure de faire (les actes A_i).
2. Il doit :
 - (a) d'une part, envisager tous les états de la nature (E_j) pertinents et leur associer une probabilité subjective de réalisation, qui a le statut de croyance ou de jugement intuitif ;
 - (b) d'autre part, évaluer l'utilité qui respecte l'ordre de ses préférences.
3. Il doit évaluer pour chaque acte la somme des conséquences conditionnelles pondérées par les probabilités de réalisation des états de la nature.
4. Enfin, le décideur est rationnel donc il préfère l'acte ayant l'utilité espérée maximale pour faire son choix.

Quelques limites. Pour des raisons mathématiques, Savage (1954) admet que les actes A_i possibles du décideur sont infinis. En revanche, l'espace des états de la nature est considéré par Savage comme fini. Ce point a fait l'objet de critiques, Kreps (1990) affirmant qu'il doit être infini pour la viabilité du modèle. De plus, faire l'hypothèse que le décideur dispose d'une liste complète des états de la nature exclut que se produisent des événements imprévus (Shackle, 1990). Enfin, une autre hypothèse mérite d'être soulignée les concernant : Savage a noté que les états du monde résultent d'une construction personnelle du décideur, ils ne s'imposent pas d'un point de vue extérieur. Pour cela, nous pensons qu'essayer de reconstituer les étapes de décision du décideur en le laissant à l'écart de l'analyse, alors que les variables du modèle dépendent

de ses probabilités subjectives, peut entraîner de mauvaises interprétations et *in fine* des choix moins appropriés à ses contraintes.

1.4.4 Discussions : l'incertitude probabiliste dans la CBA

En univers certain, il est admis que le choix des individus résulte de la maximisation de leur satisfaction *via* leur fonction d'utilité. La théorie de l'utilité espérée donne une possibilité de transposer le modèle de décision en information parfaite à un contexte d'incertitude, en s'appuyant sur des probabilités. Ces probabilités associées aux variables aléatoires peuvent être ou non connues du décideur. Si elles sont données, la décision est dite risquée et le modèle associé est celui de l'utilité espérée de Von Neumann et Morgenstern (1944). En revanche, dans le cas où les probabilités ne sont pas données au décideur, la décision s'appuie alors sur des probabilités subjectives et le modèle correspondant est celui de l'espérance d'utilité subjective de Savage (1954). Ces deux constructions théoriques permettent de parvenir à la règle de décision simple : maximiser son espérance d'utilité et, munis de cette règle, les agents économiques peuvent alors décider de façon parfaite.

En tant qu'outil d'aide à la décision, l'analyse coûts-bénéfices prend par conséquent appui sur la maximisation de l'utilité espérée pour à la fois anticiper les actions des différents acteurs concernés par la décision et attribuer une valeur de probabilité pour caractériser l'occurrence et l'ampleur des conséquences identifiées de cette décision. En particulier, la CBA n'envisage que l'incertitude probabiliste dans la réalisation de l'exercice et pas l'incertitude radicale (voir Chapitre 2).

Partir ailleurs, à partir de la théorie de Savage, de nombreux économistes vont alors chercher à saisir le comportement en incertitude, à partir de la décision optimale (Diamond et Rothschild, 1978; Hirshleifer et Riley, 1979; Cohen et Tallon, 2000), le débat sur cette question tournant autour du modèle de l'utilité espérée. Une autre analyse est pourtant également possible, avec l'usage de la rationalité procédurale (voir la section 1.5.1 et la discussion sur les apports de Simon (1955)) : l'idée étant d'expliquer le processus de décision en entier, celui-ci dépendant de ce qui se passe « dans la tête du décideur » et du contexte (Laville, 2000).

1.5 Le problème des modèles d'aide à la décision : les hypothèses d'indépendance et de rationalité parfaite

Les outils d'aide à la décision classique, et en particulier l'analyse coûts-bénéfices (Chapitre 2) sont fondés sur la philosophie utilitariste et l'économie du bien-être et supposent notamment que l'individu agit de façon rationnelle, sous une hypothèse de rationalité parfaite. Cependant, nous pensons que l'individu - et en particulier le décideur - ne vérifie pas toujours ces hypothèses : il n'a pas toujours à disposition toutes les informations dont il a besoin pour faire des choix, ses préférences (et en particulier leur ordonnancement) peuvent évoluer à mesure qu'il obtient plus d'informations, ses critères de choix peuvent être différents de la seule maximisation de son utilité en fonction des axiomes de Von Neumann et Morgenstern (1944) : il peut également être averse au risque ou à l'ambiguïté, ou encore pondérer différemment ses pertes que ses gains (Kahneman et Tversky, 1979). Enfin, dans certains cas, le décideur peut ne pas forcément agir pour le bien collectif mais pour satisfaire ses propres intérêts (Krueger, 1974; Buchanan, 1980). Ce sont les raisons pour lesquelles il nous a semblé nécessaire de nous appuyer sur certains concepts différents (voire même qui les mettent en défaut) de ceux présentés dans les premières sections de la Partie I.

La section 1.5.1 développe les éléments théoriques qui sous-tendent la rationalité de l'individu telle que nous l'envisageons dans l'outil CoBAYe. En effet, la rationalité procédurale (Simon, 1955) suppose que l'individu a des préférences qui évoluent à mesure qu'il acquiert de l'information, contrairement à l'hypothèse de rationalité parfaite, pour laquelle l'individu a un classement de ses préférences invariable et à partir duquel il maximise son utilité. La section 1.5.2 a pour but d'exposer quelques-uns des paradoxes expérimentaux, notamment ceux d'Allais (1953c) et d'Ellsberg (1961), qui mettent en défaut les axiomes de Von Neumann et Morgenstern (1944) et qui justifient les raisons pour lesquelles nous ne les envisageons pas dans l'outil CoBAYe, contrairement aux outils classiques d'aide à la décision. Enfin, la section 1.5.3 présente également d'autres paradoxes expérimentaux qui ont favorisé l'émergence de l'économie expérimentale, comme la théorie des perspectives de Kahneman et Tversky (1979), qui met en avant des arguments psychologiques de l'individu au moment de faire ses choix.

1.5.1 La rationalité procédurale et CoBAYe

Le courant dominant de la théorie économique moderne dans la prise de décision est largement fondé sur l'hypothèse de rationalité parfaite des agents économiques qui cherchent à maximiser leur utilité subjective. Cette vision de l'économie ne repose pas sur des preuves empiriques mais plutôt sur une utilisation simultanée des axiomes de maximisation de l'utilité par l'usage de probabilités subjectives. Dans l'œuvre fondamentale de Savage (1954), les axiomes sont des pré-requis cohérents des actions, et les actions sont définies comme des trajectoires des états du monde à leurs conséquences. Certes, la structure intellectuelle du modèle de l'utilité espérée est robuste mais, pour Simon, elle ne peut pas représenter le comportement humain.

Ainsi, grâce à ses observations sur la façon dont les décideurs municipaux de sa ville de Milwaukee prenaient leurs décisions, Herbert Simon se rendit compte de la différence flagrante entre la pratique et le modèle de l'espérance d'utilité, et passa la majorité de sa vie scientifique à essayer de comprendre les mécanismes de la décision humaine (Simon, 1991).

Pour Simon, lorsque les individus se trouvent dans des situations simples, à l'occasion d'expériences de psychologie cognitive, ils se comportent de manière générale comme le prévoit le modèle de l'utilité espérée de Savage (1954). On peut alors parler de *rationalité parfaite* ou *substantielle*, c'est-à-dire définie par les conséquences. Cependant, dès que l'on s'éloigne de ces situations, le modèle de l'utilité espérée n'explique plus les comportements des agents économiques et il n'est alors plus possible de s'appuyer sur l'hypothèse de rationalité parfaite⁴¹.

Les travaux qui découlent de l'hypothèse de rationalité procédurale sont nombreux, et retiennent pour la plupart l'idée que la rationalité est limitée par les capacités de collecte, de traitement de l'information et de calcul (Laville, 1998). Cette conception de la rationalité limitée n'est cependant pas l'unique raison pour laquelle l'agent économique ne se comporte pas en maximisateur. On peut par exemple en dégager au moins trois raisons :

- la difficulté d'explorer le champ des possibles, qui reflète l'hypothèse de rationalité limitée ;
- la difficulté de concevoir le futur (Keynes, 1936; Shackle, 1967) ;

41. Cette section est adaptée de Gigerenzer et Selten (2002), Selten (2002), Gigerenzer (2002), Moureau et Rivaud-Danset (2004) et Pomerol (2006).

— et le conflit de jugement entre efficacité et équité (voir section 1.3.1).

Origines : l'existence de situations « complexes »

Pour Simon, il existe deux types de situation dans lesquelles un décideur est amené à faire un choix :

1. Les situations simples, ou « *very simplest* ». Simon (1976a) fait alors référence :
 - au modèle de Savage dans lequel le cadre est donné, les alternatives sont fixées à l'avance et le décideur peut saisir la totalité des éléments pertinents pour son choix ;
 - à un monde où l'information est précise et parfaitement disponible.
2. Dans toutes les autres situations, qualifiées de *complexes*, le théoricien doit rendre compte de la capacité des individus à « délibérer ». Or ce terme détient lui-même plusieurs éléments inséparables de la décision :
 - *l'intuition*, que Simon associe à l'expérience et qui permet de reconnaître une situation déjà rencontrée dans le passé ;
 - *la qualification de la situation*, qui permet de structurer le problème ;
 - *la construction d'alternatives*, qui renvoie aux capacités humaines d'anticiper et d'inventer ;
 - et *l'élaboration* d'une solution au problème.

Simon met donc en évidence que la théorie de la décision ne doit pas s'intéresser seulement à la solution d'un problème, mais doit plutôt incorporer une théorie de la recherche portant à la fois sur la construction du problème et sur sa solution.

En particulier, l'existence de deux comportements qui se différencient selon les contextes précédemment définis amène Simon à définir deux modes d'évaluation de la rationalité :

1. Dans une situation « simple », la rationalité est jugée à l'aune du choix effectué, conformément à la règle de décision donnée par le modèle : c'est la rationalité *substantielle*. Il voit en effet dans le modèle de l'utilité espérée un cas particulier d'explication du comportement, dans des situations où le processus de délibération est évident.
2. En revanche, dans les situations « complexes », la rationalité s'analyse au regard du processus de délibération et non plus par rapport au choix ou à la règle de décision. On

est alors en situation de rationalité *procédurale*, l'important se déroulant dans la boîte noire du décideur (Simon, 1976b). Il ne s'agit alors plus de proposer un mode de décision parfait, mais d'aider à la décision stratégique. Le processus de délibération étant coûteux, les décideurs ne doivent pas essayer d'envisager toutes les éventualités pour ensuite les ordonner en fonction de leurs préférences comme dans les modèles de rationalité parfaite. Au contraire, Simon propose qu'ils s'arrêtent de les explorer lorsqu'une solution satisfaisante a été atteinte.

L'hypothèse de rationalité parfaite ne convient pas aux situations complexes

Selon Simon (1997), la rationalité substantive est un échec pour modéliser le comportement humain pour quatre raisons :

1. La rationalité nécessite une connaissance complète et une anticipation totale des conséquences des choix. Or, dans la pratique, les connaissances sur les conséquences sont toujours partielles, surtout en situation de risque ou d'incertitude (voir sections 1.4.1 et 5.4) ;
2. Les conséquences relèvent du futur, et l'imagination doit remplacer le manque d'expérience sensible pour leur attribuer une valeur (voir sections 1.4.1 et 5.4.1). Le problème vient du fait que ces valeurs ne peuvent qu'être imparfaitement anticipées (Pomerol, 2006) ;
3. La rationalité nécessite de choisir parmi toutes les actions possibles et connues (March et Simon, 1958). Or, dans la pratique, seul un petit nombre d'actions possibles vient à l'esprit ;
4. Enfin, dans la pratique, le décideur n'a pas de préordre total sur les conséquences, c'est-à-dire qu'il n'a pas de fonction d'utilité, ni de préordre total qui présuppose que chacune de ses actions sont comparables entre elles. Par ailleurs, ses préférences ne sont pas exogènes et indépendantes des choix et des actions (March et Simon, 1958).

La critique de Simon part donc de la difficulté, sauf dans des cas très simples, à utiliser le modèle du maximum de l'espérance d'utilité (« *Subjective Expected Utility* » (SEU) présenté en section 1.4). En effet, les critiques précédentes correspondent chacune aux hypothèses du modèle de Savage (1954) : « *When these assumptions are stated explicitly, it becomes obvious that SEU theory has never been applied and never can be applied - with or without the largest computers - in the real world* » (Simon, 1983, p. 14).

La rationalité procédurale : caractérisations

Une métaphore

Pour définir le terme de « rationalité procédurale », Simon (1956) proposa la métaphore d'une paire de ciseaux :

- la première lame représente les « limites cognitives » des humains
- et la deuxième symbolise la « structure de l'environnement ».

En effet, l'hypothèse de rationalité parfaite nécessite que l'individu possède des capacités cognitives complètes : l'*homo economicus* est en mesure de trouver une solution à tout problème mathématique d'optimisation et peut immédiatement effectuer toutes sortes de calculs, indépendamment de leur difficulté. Pour Selten (2002), les êtres humains sont en revanche bien différents. Leurs capacités cognitives sont limitées et, pour cette raison uniquement, le comportement d'un individu dans sa prise de décision ne peut pas se conformer à l'idéal des modèles s'appuyant sur la rationalité parfaite. Par ailleurs, pour Simon, des esprits contraints par des limites de temps, de connaissances et d'autres ressources peuvent néanmoins atteindre leur but en exploitant les structures de leur environnement⁴² : la paire de ciseaux est composée de deux lames, et elle ne peut couper que si les deux sont ensemble. Simon affirme ainsi que l'étude des deux « lames » est nécessaire.

Ce que la rationalité procédurale n'est pas

La rationalité procédurale n'est ni une optimisation ni une forme d'irrationalité. Cette distinction est importante car la littérature économique elle-même interprète parfois la rationalité procédurale comme telle :

- **La rationalité procédurale diffère de l'optimisation sous contraintes.** Une manière de modéliser la recherche limitée sans laisser de côté l'idée d'optimisation peut prendre la forme d'une optimisation en tenant compte des coûts de décision, aussi appelée *optimisation sous contraintes*. Stigler (1961) prend l'exemple d'une personne qui veut acheter un véhicule d'occasion, et arrête sa recherche lorsque les coûts de la poursuite de sa

42. Dans les termes de Simon, « *a great deal can be learned about rational decision making... by taking account of the fact that the environments to which it must adapt possess properties that permit further simplification of its choice mechanisms* » (Simon, 1956, p. 129).

recherche dépassent les bénéfices qui y sont associés. Ce phénomène peut être appelé une *règle d'arrêt optimale* (Gigerenzer et Selten, 2002). Toutefois, cette forme d'optimisation n'est pas sans quelques problèmes, parmi lesquels :

1. Avoir des estimations fiables de bénéfices et de coûts, tels que les coûts d'opportunité, peut nécessiter une grande quantité de connaissances ;
2. Les opérations de comparaison entre coûts et bénéfices font eux-mêmes appel à d'autres telles procédures à mesure que la recherche se poursuit, et on est en présence d'une comparaison itérative longue, à la manière d'une régression linéaire ;
3. La connaissance et les opérations qui sont nécessaires à cette forme d'optimisation peuvent être si conséquents qu'on est obligé de faire l'hypothèse qu'un individu possède des capacités de traitement de l'information très importantes.

Ainsi, les tentatives de modéliser un processus de recherche limitée et de règle d'arrêt - comme l'optimisation sous contraintes - ne vont donc pas dans le sens de Simon, pour qui un individu a des capacités cognitives limitées et ne peut évidemment pas adopter un tel processus de choix lorsqu'il prend ses décisions. La confusion existe pourtant et l'optimisation sous contraintes est parfois référée à de la rationalité procédurale (Aumann et Sorin, 1989; Sargent, 1993) à tort. Cette interprétation n'est néanmoins pas appropriée : les modèles de rationalité procédurale utilisent des règles d'arrêt rapides et sans coût qui ne font pas intervenir d'optimisation.

- **La rationalité procédurale diffère de l'irrationalité.** Les paradoxes expérimentaux mis en évidence dans les années 1970 (voir section 1.5.2) ont conclu qu'il existait des contradictions entre certaines normes et le jugement humain. La rationalité procédurale, cependant, ne peut pas uniquement se résumer à cette contradiction. Elle fournit une alternative aux normes actuelles, et souhaite plutôt repenser ces normes en même temps qu'étudier le comportement réel de l'esprit humain et des institutions. On ne peut alors pas qualifier ce comportement d'irrationnel simplement parce qu'il n'est pas conforme aux axiomes de la rationalité parfaite. En effet, un décideur dont les actions sont guidées par l'adaptation de ses aspirations à la structure de l'environnement, et non pas par la maximisation de son utilité, peut agir de façon parfaitement rationnelle dans le sens commun (Selten, 2002). La rationalité procédurale n'est alors ni une forme inférieure

de rationalité, voire d'irrationalité, ni non plus une déviation des normes qui ne reflète pas la structure et la représentation de l'information dans l'environnement du décideur. Les théories de rationalité limitée ne doivent alors pas être confondues avec des théories d'irrationalité de prise de décision auxquels certains économistes se réfèrent (Jolls *et al.*, 1998).

Les fondements de la rationalité procédurale

Les hypothèses que formulent Simon (1955) vont devenir les fondements de la rationalité procédurale. Il est possible de les résumer de la façon suivante (Pomerol, 2006).

1. L'impossibilité de donner des probabilités à tous les événements et même d'énumérer tous les événements possibles avec leurs combinaisons.
2. Le fait que les préférences du décideur ne sont pas rationnelles au sens de la maximisation d'une fonction d'utilité. Le fait qu'elles sont plutôt multicritères et changeantes entraîne l'impossibilité d'avoir une fonction d'utilité globale pour le choix.
3. Les décisions s'étalent dans le temps et, dans les organisations, forment un processus temporel dans lequel les sous-décisions ne sont pas indépendantes entre elles, mais peuvent être prises à des niveaux différents avec des critères non-identiques ; de plus, il n'est pas possible de séparer préférences, actions et buts⁴³.
4. L'information est fondamentale et conditionne très fortement la décision : ceci est particulièrement évident lorsque l'on constate le nombre d'actions qu'un individu est capable d'étudier réellement. L'attention joue également un rôle prépondérant dans la décision : c'est une ressource rare, et l'agent économique ne peut fixer son attention que sur un petit nombre de problèmes à la fois, voire un seul lorsqu'il est très préoccupé.

Par conséquent, même si l'individu est omniscient, il doit se contenter de décisions sous-optimales ou *satisfaisantes*.

43. « *Closely related to the idea that actions generate their goals is the fact that action is itself an important goal in lives of many people* » (March et Simon, 1958, p. 16).

La rationalité procédurale : recherche de modèles

L'hypothèse des économistes qui utilisent la rationalité procédurale dans leurs modèles est la suivante : les décideurs réels ont besoin, initialement, de chercher des informations. Cette recherche (l'étape de « *search* » à laquelle fait référence Simon (1956)) ne peut cependant pas avoir lieu indéfiniment car elle est soumise à des contraintes de temps, d'argent, d'attention et d'autres ressources rares. La différence majeure avec les modèles qui utilisent la rationalité substantielle et les modèles d'optimisation sous contraintes est que les modèles reposant sur l'hypothèse de rationalité procédurale utilisent une *règle d'arrêt* qui ne requiert pas d'optimisation ni de calcul comme dans les modèles de rationalité parfaite, mais qui repose sur la *satisfaction des aspirations* du décideur⁴⁴. Enfin, ces niveaux d'aspiration ne sont pas fixes de façon permanente, mais sont plutôt ajustés dynamiquement en fonction de la situation⁴⁵. Cette idée de niveaux d'aspiration différents est d'ailleurs centrale dans les premiers travaux de Simon.

Il n'existe pas à notre connaissance de théorie de la rationalité procédurale, celle-ci se composant plutôt de caractérisations et de modèles adaptés au cas d'étude. Le dénominateur commun est sans doute le fait que la rationalité procédurale concerne des décisions qui doivent être prises dans à la fois un temps et un champ de connaissances et de ressources limités, mais aussi dans un monde qui est incertain et changeant. En outre, il est possible de spécifier trois types de processus qui sont fréquemment spécifiés dans les modèles de rationalité procédurale (Gigerenzer et Selten, 2002) :

1. *Des règles de recherche simples.* Le processus de recherche d'informations est modélisé par une procédure étape-par-étape, au cours de laquelle l'agent acquiert une information, ou procède à un ajustement de son comportement, et ce processus est alors répété jusqu'à ce que l'agent décide de l'arrêter.
2. *Des règles d'arrêt simples.* L'étape de recherche d'informations arrive à son terme par des règles d'arrêt simples, telles que le fait de choisir la première option qui satisfait le niveau d'aspiration de l'agent économique. Cette règle d'arrêt peut évoluer en fonction de

44. Les termes « *satisficing* » et « *aspiration levels* » sont utilisés par Simon (1956) et sont largement repris sans la littérature qui a suivi.

45. Par opposition, l'hypothèse de l'agent économique qui cherche toujours à maximiser son utilité, quel que soit l'environnement, peut être considérée comme « fixe ».

la longueur de la recherche ou d'une information d'une autre nature, comme le spécifie Selten (1998) dans sa théorie de l'adaptation des aspirations. Ces règles d'arrêt simples ne font en revanche pas intervenir de calculs d'optimisation, comme le calcul et la comparaison d'utilités ou de probabilités pour déterminer un éventuel point d'arrêt optimal.

3. *Des règles de décision simples.* Une fois la recherche terminée, et un certain nombre d'informations acquis, une règle de décision simple est appliquée, telle que le choix d'une option qui est préférée par l'argument le plus important, plutôt qu'essayer de calculer les coefficients optimaux de tous les arguments et de les intégrer de façon linéaire ou non-linéaire, comme c'est le cas dans le modèle de l'utilité espérée par exemple.

Ces trois types de processus sont également présents dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe, détaillé en Partie II). Nous pensons en effet que dans le cas d'une décision publique, *a fortiori* lorsqu'elle est collective et qu'elle fait intervenir une diversité d'acteurs du territoire aux contraintes différentes et quelquefois contradictoires et, de surcroît lorsque cette décision doit être prise dans un temps limité - indépendamment de la contrainte du calendrier électoral - il n'est pas aisé de prendre appui sur un modèle d'utilité espérée, ou de proposer une aide à la décision qui fasse l'hypothèse de rationalité parfaite du décideur. Nous privilégions donc également trois étapes simples pour aider à la prise de décision :

1. **Une règle de recherche simple par l'identification des effets de l'action publique**, au cours de laquelle le collège d'acteurs participant à la prise de décision obtient des informations de toutes les parties prenantes sur leurs anticipations et leurs comportements et, en procédant étape par étape, permet à chacun de se positionner et d'annoncer les comportements qu'il envisage dans une telle configuration (Chapitre 4). Cette configuration est elle-même susceptible de changer si les anticipations et comportements des acteurs économiques modifient la structure topo-économique du territoire considéré (section 6.2). Les acteurs sont alors amenés à identifier les effets possibles dans cette nouvelle configuration.
2. **Une règle d'arrêt simple déterminée lorsque l'horizon temporel d'évaluation n'est plus adéquat.** Nous pensons en effet que chaque effet identifié peut être caractérisé par un horizon temporel propre à la rationalité de l'acteur qui l'anticipe et à l'incertitude qui l'entoure (voir le Chapitre 5 et en particulier la section 5.3). Après concertation entre

les acteurs parties prenantes de la décision et lorsque cet horizon temporel, appelé t^* , est identifié, il n'est plus nécessaire de chercher à évaluer l'effet pour une durée supérieure à t^* .

- 3. Une règle de choix simple propre au décideur.** Les étapes proposées par Gigerenzer et Selten (2002) mettent en avant une règle de décision simple qui est propre à l'individu dont la « boîte noire » est étudiée. L'outil d'aide à la décision CoBAYe propose également de fournir des éléments d'information au décideur, mais pas de norme quant à la « meilleure » façon de décider, qu'elle soit optimale ou pas, qu'elle reflète une rationalité parfaite, cachée ou pas. Dans le processus imaginé par l'outil CoBAYe, le choix est du ressort du décideur, en fonction de ses critères.

1.5.2 Les paradoxes expérimentaux des modèles néoclassiques et l'émergence de l'économie comportementale

Qu'est-ce que l'économie comportementale ?

La théorie du choix classique : des hypothèses fortes

Dans l'analyse économique néoclassique traditionnelle, ainsi que dans une grande partie de l'économie comportementale, les motivations de l'individu sont résumés par une fonction d'utilité (ou une relation de préférence) sur les résultats possibles de gain tandis que ses limites cognitives sont décrits comme des informations incomplètes. Ainsi, la théorie économique standard de l'individu est fondée sur la maximisation des contraintes et l'inférence statistique (Chapitre 2).

Par exemple, on fait généralement l'hypothèse que les préférences de l'individu sont bien policées, c'est-à-dire qu'elles peuvent être représentées par une fonction qui satisfait des conditions appropriées pour le contexte particulier de la continuité, de la monotonie, de la quasi-concavité ; et lorsque l'on étudie son comportement en situation d'incertitude probabiliste (voir section 1.4.1), on suppose souvent que la préférence de l'individu obéit à l'hypothèse de l'utilité espérée (voir section 1.4.2).

Par ailleurs, dans la théorie standard, les économistes supposent souvent que la même fonction d'utilité est pertinente pour les choix de l'individu sur un certain laps de temps au cours

duquel un certain nombre de choix qui s'y rapportent sont faits : ils font donc l'hypothèse que la fonction d'utilité de l'agent économique ne varie pas au cours de ce laps de temps.

Enfin, pour intuire le comportement d'un agent économique, l'analyste espère que ses observations vont engendrer assez de variations pour identifier la fonction d'utilité du décideur. Si ce n'est pas le cas, l'analyste peut choisir d'utiliser des observations de choix réalisés dans le passé dans différents contextes afin d'identifier les préférences de l'individu ou faire des hypothèses sur des paramètres. L'analyste peut même mettre en commun des informations provenant de choix observés de différentes personnes pour arriver à une fonction d'utilité représentant le comportement d'un individu (Gul, 2008).

Caractérisation de l'économie comportementale

L'économie comportementale est, en quelque sorte, à l'intersection de l'économie et de la psychologie. D'une part, la théorie économique néoclassique suppose que les gens sont parfaitement rationnels, patients, aussi efficaces et efficients qu'un ordinateur en étant capables de savoir objectivement ce qui les rend heureux et de choisir la solution optimale qui maximise leur bonheur dans un problème de décision. (Même si les économistes traditionnels reconnaissent que les gens ne sont pas en mesure de maximiser parfaitement leur utilité, ils font généralement valoir que les écarts à ce principe sont aléatoires plutôt que de montrer la preuve de distorsions constantes (Beggs, 2014).) Les théoriciens de l'économie comportementale, en revanche, se disent mieux sachant et plus proches de la réalité : ils visent à développer des modèles qui tiennent compte des faits que les gens tergiversent, procrastinent, sont impatients, ne sont pas toujours de bons décideurs dans le cas de décisions difficiles (et parfois même évitent entièrement la prise de décision), se soucient de choses comme l'équité en plus du gain économique, et sont sujets à des biais psychologiques qui rendent leur interprétation de l'information biaisée.

Ces écarts par rapport à la théorie traditionnelle sont nécessaires si les économistes souhaitent comprendre empiriquement comment les gens prennent des décisions sur ce qu'il faut consommer, le montant à épargner, l'ardeur à apporter au travail, les diplômes à obtenir. En outre, si les économistes comprennent les biais que les gens présentent comme abaissant

leur bonheur objectif, ils peuvent tenir des discours prescriptifs, ou normatifs, pour orienter des politiques publiques ou donner des conseils de vie en général.

Historique de l'économie comportementale

Techniquement parlant, l'économie comportementale a d'abord été reconnue par Adam Smith au dix-huitième siècle déjà, quand il a remarqué que la psychologie humaine était imparfaite et que ces imperfections pourraient avoir un impact sur les décisions économiques. Cette idée a été majoritairement oubliée, cependant, jusqu'à la Grande Dépression, lorsque des économistes comme Irving Fisher et Vilfredo Pareto ont commencé à réfléchir sur le facteur « humain » dans la prise de décision économique comme une explication possible de la crise de 1929 sur le marché boursier et des événements qui ont suivi par la suite.

L'économiste Herbert Simon prit officiellement la défense de l'économie comportementale en 1955 quand il inventa le terme de « rationalité limitée ⁴⁶ » pour signifier une façon de reconnaître que les êtres humains ne possèdent pas les capacités infinies de prise de décision (voir section 1.5.1). Malheureusement, les idées de Simon n'ont initialement reçu beaucoup d'attention (même si Simon a gagné le prix Nobel d'économie en 1978) jusqu'à une vingtaine d'années plus tard.

Ainsi, les économistes font l'hypothèse que l'économie comportementale en tant que domaine important de la recherche économique est souvent considérée comme ayant commencé avec le travail de psychologues tels que Daniel Kahneman et Amos Tversky. En 1979, Kahneman et Tversky publient un article intitulé « Prospect Theory » qui offre un cadre pour envisager comment les individus se représentent les résultats économiques comme des gains et des pertes et comment cette représentation affecte leurs décisions et choix économiques. La théorie des perspectives ⁴⁷, ou l'idée que les gens aiment moins perdre que gagner des sommes équivalentes, est toujours l'un des principaux piliers de l'économie comportementale, et elle est compatible avec un certain nombre de biais observés que les modèles traditionnels de l'utilité et de l'aversion au risque ne peuvent pas expliquer (voir section 1.5.3). Cela dit, l'économie comportementale est encore un domaine très nouveau, et il y a encore beaucoup plus à apprendre.

46. « *Bounded rationality* » en anglais.

47. Traduction de l'anglais « *Prospect Theory* ».

Des paradoxes expérimentaux

Après la publication des modèles de Von Neumann et Morgenstern (1944) et de Savage (1954) notamment, la communauté scientifique a cherché à savoir si les théories qui y étaient développées étaient également cohérentes dans la pratique. On observe alors de nombreuses expériences qui testent les théories exposées précédemment. Certaines aboutissent à des contradictions. Cette section montre quelques-uns des paradoxes expérimentaux qui remettent en cause quelques-unes des hypothèses des modèles précédents, notamment le choix de l'individu rationnel⁴⁸.

Le terme de *paradoxe expérimental* ou *empirique* en théorie de la décision est utilisé lorsqu'un modèle s'avère incompatible avec les faits, c'est-à-dire que des résultats théoriquement impossibles sont observés empiriquement et que cette divergence n'est imputable ni à la structure logique du modèle dont la cohérence est assurée, ni à la qualité des tests (Walliser, 1995). Confrontés à un paradoxe expérimental, les économistes ont alors deux réactions possibles, selon qu'ils adoptent une approche normative ou descriptive.

1. L'approche normative amène à considérer que ce sont les faits qui sont en cause, c'est-à-dire que les individus n'agissent pas de façon rationnelle : ils commettent des erreurs de choix et de jugements qui les conduisent à des choix incohérents.
2. L'approche descriptive, quant à elle, remet en question le modèle, car il perd son pouvoir prédictif et il est nécessaire de réviser ces axiomes. Les paradoxes expérimentaux, dont les plus célèbres sont sans doute ceux d'Allais (1953b) et d'Ellsberg (1961), ont plutôt conduit à cette deuxième approche.

Le paradoxe d'Allais et ses apports

L'axiome d'indépendance

Les travaux d'Allais (1953a) offrent l'une des premières critiques des hypothèses de la théorie de la décision. Dans son expérience, il fournit deux paires de choix binaires et montre que le comportement de nombreux sujets ne respecte pas l'hypothèse de l'utilité espérée et, en particulier, l'axiome d'indépendance. L'approche de Allais diffère des précédentes critiques : il

48. Cette section est largement adaptée de Moureau et Rivaud-Danset (2004)

interroge un axiome explicite de la théorie du choix plutôt qu'une hypothèse implicite telle que la « rationalité ». De plus, il le fait en fournissant un test expérimental simple et clair de l'hypothèse en question.

Le paradoxe développé par le prix Nobel d'économie en 1988 Maurice Allais (1953b) remet en question l'axiome dit d'*indépendance* du modèle de l'utilité espérée de Von Neumann et Morgenstern (1944) (voir section 1.4.2). Le terme d'indépendance résume l'idée selon laquelle les préférences des individus entre deux loteries ne doivent pas être modifiées lorsqu'elles sont combinées dans les mêmes proportions avec une troisième loterie. Allais cherche en effet à savoir si les préférences concernant les gains donnés sont stables, quelles que soient les probabilités attachées à ces gains. En particulier, les agents révisent-ils l'utilité qu'ils attachent à un gain quand les probabilités de recevoir ce gain se modifient, ou lorsque le gain cesse d'être certain pour devenir hypothétique ? Pour cela, il a proposé deux couples de loteries judicieusement construites pour montrer le non-respect de cet axiome et, ce faisant, réfuter un des piliers du modèle de l'utilité espérée.

Le test Le test consiste à présenter à différents individus des options, chacune se décomposant en deux loteries, et à leur demander de révéler leurs préférences :

(A) *Option A*

- Loterie L_1 : recevoir 100 millions de façon certaine.
- Loterie L_2 : 10 chances sur 100 de gagner 500 millions, 89 chances sur 100 de gagner 100 millions, 1 chance sur 100 de ne rien gagner.

(B) *Option B*

- Loterie L'_1 : 11 chances sur 100 de gagner 100 millions, 89 chances sur 100 de ne rien gagner.
- Loterie L'_2 : 10 chances sur 100 de gagner 500 millions, 90 chances sur 100 de ne rien gagner.

Quatre couples de réponses sont alors envisageables : (L_1, L'_1) , (L_2, L'_2) , (L_1, L'_2) et (L_2, L'_1) . Cependant seuls les couples (L_1, L'_1) et (L_2, L'_2) sont compatibles avec les axiomes de

Von Neumann et Morgenstern (1944). En effet, les espérances d'utilités associées aux différents gains sont :

- Loterie L_1 : $U(100)$
- Loterie L_2 : $0,1U(500) + 0,89U(100) + 0,01U(0)$
- Loterie L'_1 : $0,11U(100) + 0,89U(0)$
- Loterie L'_2 : $0,1U(500) + 0,9U(0)$

Si un individu déclare préférer la loterie L_1 à la loterie L_2 (noté $L_1 \geq L_2$), alors

$$\begin{aligned}
 U(100) &> 0,1U(500) + 0,89U(100) + 0,01U(0) \\
 &\iff 0,11U(100) > 0,1U(500) + 0,01U(0) \\
 &\iff 0,11U(100) + 0,89U(0) > 0,1U(500) + 0,9U(0) \\
 &\iff L'_1 \geq L'_2
 \end{aligned}$$

Interprétations Selon ces transformations, les individus qui ont préféré L_1 à L_2 doivent préférer L'_1 à L'_2 puisque le passage d'une préférence à l'autre s'obtient à l'aide d'une combinaison linéaire des loteries (axiome d'indépendance du modèle de l'utilité espérée de Von Neumann et Morgenstern (1944)). Or, les résultats de l'enquête menée par Allais montrent que de nombreux individus choisissent le couple (L_1, L'_2) . Ce choix n'est pas conforme à l'axiome d'indépendance. Néanmoins, cela ne signifie pas forcément que les individus sont irrationnels. Dans le premier choix, ils préfèrent recevoir de façon sûre un montant très élevé (100 millions) plutôt que de choisir une loterie qui inclut un résultat nul, bien que celui-ci soit associé à une très faible probabilité. Dans le second choix, les probabilités sont sensiblement identiques (0,1 contre 0,11) et les individus sont alors frappés par la différence de gains affichée (500 millions contre 100 millions).

Apports Le paradoxe d'Allais montre ainsi que l'axiome d'indépendance est celui qui est transgressé, c'est-à-dire celui selon lequel l'ordre de préférence des individus entre deux loteries n'a pas de raison de changer lorsqu'elles sont combinées linéairement avec une troisième. Pour approfondir les causes de la transgression de cette axiome, la notion de *comonotonie* a été évoquée

par les théoriciens de la décision : on dit que deux variables sont comonotones lorsque, dans chaque état de la nature, elles offrent des résultats qui sont soit tous les deux meilleurs, soit tous les deux moins bons (Gayant, 2001). Ainsi la combinaison de deux variables comonotones augmente le risque alors que la combinaison de deux variables non comonotones le réduit. Dans le cas du paradoxe d'Allais, le renversement de l'ordre des préférences entre deux loteries s'explique par la modification du risque encouru, après que des loteries initiales ont été combinées avec une autre loterie. Ainsi, choisir le coupe (L_1, L_2) , comme le font la plupart des gens, ne peut plus être vu comme incohérent, puisque la combinaison des loteries initiales avec une troisième loterie qui donne (L'_1, L'_2) ne respecte pas la comonotonie. Si l'on restreint le postulat de l'invariance de l'ordre des préférences entre deux loteries aux seules combinaisons qui respectent la comonotonie, alors le paradoxe disparaît, puisque le décideur ne viole plus l'axiome défini par le logicien. Par conséquent, introduire la comonotonie, comme contrainte définissant l'axiome de l'indépendance de façon plus stricte, conduit à restreindre le champ d'application de cet axiome et à résoudre le paradoxe expérimental : le changement de l'outil mathématique a donc permis à l'économiste de se rapprocher du modèle des comportements observés par le psychologue en incertitude probabiliste.

Le paradoxe d'Ellsberg

Une autre série de critiques des comportementalistes met en évidence comment la définition standard des résultats ou des conséquences n'est pas adéquate. La littérature sur les questions de l'ambiguïté remet en question l'idée que toute incertitude peut être réduite à des distributions de probabilités (voir aussi la section 5.4.2).

La méthode utilisée est la même que précédemment, c'est-à-dire que des expériences répétées sur des jeux adéquats montrent que les parieurs ne respectent pas un axiome. Alors que le paradoxe d'Allais remet en cause la fonction d'utilité de Von Neumann et Morgenstern, celui de Daniel Ellsberg (1961) met en cause le modèle SEU de Savage (1954) et la représentation de l'information sous forme de probabilité. en effet, cette dernière fait l'objet de déformation, dans certains contextes. Ellsberg montre comment la nature de l'information disponible pour formuler les probabilités en incertitude joue sur la confiance qu'ont les individus dans leur jugement et donc sur leurs préférences.

Le test Supposons qu'une urne contienne 90 boules, dont 30 rouges (R) et 60 noires (N) ou jaunes (J) dans une proportion inconnue. Dans un jeu à deux tirages, on demande à différents individus de parier sur la couleur de la boule tirée au cours de chaque tirage. Les propositions de paris et les gains correspondants sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Pour le premier tirage :

Tableau 1.4 – Paradoxe d'Ellsberg : premier tirage

	<i>30 boules</i>	<i>60 boules</i>	
	<i>Rouges</i>	<i>Noires</i>	<i>Jaunes</i>
Pari <i>I</i>	100	0	0
Pari <i>II</i>	0	100	0

Les joueurs doivent dire s'ils préfèrent le pari *I* où ils gagnent si la boule tirée est rouge au pari *II* où la boule gagnante est la boule noire. Pour le second tirage :

Tableau 1.5 – Paradoxe d'Ellsberg : second tirage

	<i>30 boules</i>	<i>60 boules</i>	
	<i>Rouges</i>	<i>Noires</i>	<i>Jaunes</i>
Pari <i>III</i>	100	0	100
Pari <i>IV</i>	0	100	100

Dans ce second tirage, on demande aux joueurs s'ils préfèrent le pari *III* où les boules gagnantes sont « rouges ou jaunes » au pari *IV* où elles sont « noires ou jaunes ». Quatre couples de paris sont envisageables (*I, III*), (*II, III*), (*I, IV*) et (*II, IV*) mais seuls les couples (*I, III*) et (*II, IV*) sont compatibles avec les axiomes de Savage. Pourtant, le couple de paris le plus fréquemment choisi est (*I, IV*). Le premier choix révèle que $prob(N) < prob(R)$, où $prob(N)$ désigne la probabilité - subjective - de tirer une boule noire. Le second choix révèle que $prob(N|J) > prob(R|J)$, ce qui implique que $prob(N) > prob(R)$, d'où le paradoxe.

Interprétations Les réponses des joueurs peuvent s'expliquer de la façon suivante. Lors du premier choix, les joueurs connaissent la probabilité de tirer une boule rouge, celle de tirer

une boule noire peut prendre toutes les valeurs comprises entre 0 et $\frac{2}{3}$. À cause du manque d'information pour formuler des probabilités, les joueurs préfèrent le premier pari. Dans le second cas, c'est la probabilité de tirer une boule noire ou jaune qui est connue, donc c'est la dernière solution qui est préférée.

1.5.3 Des modèles alternatifs de l'individu

Le mode de présentation des options influe sur le choix du décideur

Nous essayons dans ce paragraphe de montrer pourquoi l'hypothèse de maximisation de l'utilité en tant que cadre d'analyse économique est remise en question. Les recherches de Tversky et Kahneman (1981) font apparaître une autre composante du comportement du décideur. Ils considèrent l'expérience suivante : on pense qu'une maladie rare risque de tuer 600 personnes. Deux programmes différents de lutte contre la maladie sont proposés :

1. le programme A sauvera 200 personnes assurément ;
2. avec le programme B, il y a une probabilité d'un tiers que 600 personnes seront sauvées, et une probabilité de deux tiers que personne ne sera sauvé.

Par la suite, ils envisagent de présenter à nouveau deux programmes d'une autre façon :

3. si le programme C est adopté, alors 400 personnes mourront ;
3. avec le programme D, il y a une probabilité d'un tiers que personne ne mourra, et une probabilité de deux tiers que 600 personnes mourront.

Parmi les sujets à qui on a donné un choix entre A et B, la plupart choisissent l'option de sécurité A, tandis que la majorité des sujets qui font face à la deuxième paire de choix choisissent l'option risquée D.

La façon de présenter des informations au décideur afin qu'il fasse un choix influe sur sa décision. Ainsi, l'hypothèse d'indépendance est bafouée par ce résultat et un analyste ne peut pas supposer que la façon d'écrire sa CBA n'influera pas le décideur. CoBAYe offre deux possibilités à cela : d'une part, le décideur est une partie intégrante de l'outil d'aide à la décision, puisqu'il fait partie du collège d'acteurs nécessaire à la construction de l'outil. D'autre part, la construction de l'outil (même dans son application à une politique publique) est transparente, comme son résultat

(sous la forme du séquençage de CoBAYe, voir section 6.2.3). Aucune formulation présentée au décideur n'est donc biaisée (et par conséquent n'influence pas artificiellement son choix).

La théorie des perspectives de Kahneman et Tversky⁴⁹ est ainsi une théorie économique qui remet en cause la théorie de l'utilité espérée développée par John von Neumann et Oskar Morgenstern en 1944. Cette théorie est fondatrice de l'économie comportementale et de la finance comportementale et constitue l'une des premières théories économiques construite à partir de travaux expérimentaux. Elle amène ainsi une critique plus générale des modèles économiques standards, ou du moins de la façon dont ces modèles sont utilisés dans la pratique. Ainsi, alors que le modèle standard pourrait favoriser un niveau d'abstraction dans la modélisation du comportement de l'individu, Kahneman et Tversky (1979) soutiennent que l'identification du cadre de réflexion à partir duquel l'individu est susceptible de s'appuyer pour faire des choix doit être au centre de la théorie de la décision. En particulier, ces auteurs mettent l'accent sur la différence de traitement des gains et des pertes⁵⁰. La théorie des perspectives ne définit ainsi pas les préférences sur les résultats prévisibles de loteries (comme dans la définition initiale des perspectives), mais sur des gains et des pertes, mesurés par des différences à partir d'une situation de *statu quo*.

Un comportement incohérent dans une analyse dynamique

Strotz (1955) introduit l'idée d'*incohérence dynamique*, c'est-à-dire la possibilité qu'un décideur peut préférer la consommation de x à la période 2 à la consommation de y en période 1, s'il fait ce choix à la période 0, mais que cette préférence peut être opposée si ce choix est fait à la période 1. En faisant l'hypothèse qu'un décideur a « plusieurs personnalités » pour expliquer cette différence d'avis, et en bâtissant son raisonnement périodique sur des probabilités conditionnelles, il montre en particulier que l'incohérence dynamique conduit à une préférence pour la décision. Plus tard, en se basant sur le travail de Strotz, Peleg et Yaari (1973) proposent de résoudre le conflit entre les différentes personnalités d'un même décideur incohérent dans une situation dynamique en introduisant un concept d'équilibre stratégique. Leur reformulation de la notion de

49. « *Prospect Theory* » en anglais.

50. Par exemple, une perte de 1000 euros n'est pas compensée par un gain du même montant, mais plutôt par le plaisir de gagner 2000 ou même 3000 euros. Cet exemple est particulièrement mis en évidence à travers *l'effet miroir* de Kahneman et Frederick (2002) (voir la figure 1.2).

planification cohérente a facilité l'application des idées de Strotz à des questions plus générales, y compris les jeux dynamiques.

L'hypothèse d'incohérence dynamique est aussi présente dans CoBAYe et fait le lien avec la notion de rationalité limitée et procédurale : l'individu acquiert de l'information à mesure que le temps passe, que les effets des périodes précédentes sont visibles, ce qui « justifie » l'utilisation d'un outil « périodique » comme CoBAYe, séquencé en fonction des différentes structures topo-économiques (STE) ⁵¹.

L'hypothèse de mémoire imparfaite

Une occurrence explicite de l'hypothèse de mémoire parfaite et de l'analyse de ses conséquences (Kuhn, 1953) est une des premières contributions de la théorie des jeux dans sa forme étendue. En revanche, l'analyse de l'oubli, c'est-à-dire des jeux étendus où l'individu oublie ses propres actions ou des informations passées, est relativement récente (Piccione et Rubinstein, 1997). Ces auteurs observent que la définition du comportement optimal pour des agents dont la mémoire est imparfaite est problématique, et ils proposent quelques définitions alternatives. Les travaux qui en résultent utilisent ce que Piccione et Rubinstein appellent « l'approche multi-personnalités » ⁵². Ainsi, dans l'approche multi-personnalités de la mémoire imparfaite, comme dans le cas de l'incohérence dynamique, chaque ensemble d'informations est traité comme un acteur séparé. Le comportement optimal est un profil de stratégies de comportements et d'opinions à des ensembles d'information tels que ces opinions sont compatibles avec le profil de stratégies et que chaque stratégie de comportement maximise le gain de l'agent en fonction de ses opinions et du comportement des autres agents. Par conséquent, pour Gul (2008), l'approche multi-personnalités conduit à une prédiction du comportement qui est analogue à l'équilibre parfait bayésien.

L'hypothèse de transparence du modèle de la concurrence pure et parfaite en théorie néoclassique standard est également levée dans CoBAYe. En effet, nous ne faisons pas l'hypothèse que les acteurs économiques sont non seulement conscients de l'information sur tous les marchés, mais pas non plus toujours pleinement conscients des décisions et informations passées. La rationalité

51. La Structure Topo-Economique du territoire est définie en section 6.2.3.

52. « *Multi-self approach* » en anglais.

de l'individu n'est pas parfaite, et sa mémoire non plus. Le modèle développé par Piccione et Rubinstein (1997) ne permet certes pas de tenir compte de cette limitation humaine du décideur (ou des acteurs parties prenantes de la décision), mais son objectif reste quand même une prédiction du comportement de l'agent économique. C'est pourquoi nous référons l'utiliser pour l'identification des effets dans CoBAYe, car l'objet de l'outil n'est pas la recherche du comportement optimal, mais plutôt la recherche du comportement auquel les acteurs économiques sont prêts à s'engager, dans un processus de concertation et avec une approche positive de l'économie (voir section 7.2).

La « théorie des perspectives » de Kahneman et Tversky (1979)

Les paradoxes expérimentaux ont entraîné de nombreux travaux destinés à comprendre le comportement du décideur en situation de risque. Les expériences menées par Kahneman et Tversky (1979) font par exemple apparaître des régularités de comportement : ils développent ainsi une théorie du choix risqué dite « des perspectives »⁵³ et identifient plusieurs effets qui complexifient le comportement de choix en incertitude⁵⁴

L'explication des comportements par la psychologie

L'effet de certitude. L'effet de certitude trouve son origine dans le fait que la différence entre un gain certain et un gain probable paraît à l'individu bien plus importante qu'une différence entre deux probabilités intermédiaires (aucun gain certain). Kahneman et Tversky (1979) ont mis en évidence que cet effet biaisait les choix en reprenant une expérience d'Allais, qui montre comment les axiomes de Von Neumann et Morgenstern (1944) sont transgressés :

1. À la question « Préférez-vous gagner A (0,8 ; 4 000) ou B (1 ; 3 000) ? », une grande majorité préfère B .
2. Cependant, à la question « Préférez-vous gagner C (0,2 ; 4 000) ou D (0,25 ; 3 000) ? », la majorité s'inverse et c'est le choix C qui est privilégié.

Ce comportement est paradoxal et remet en question l'axiome d'indépendance à nouveau. En effet, l'ordre des préférences a été inversé alors que les probabilités ont simplement été multipliées

53. « *Prospect theory* » en anglais.

54. Cette section est adaptée de Moureau et Rivaud-Danset (2004) et de Kahneman (2012).

par 0,25. Kahneman et Tversky expliquent ces choix par des arguments de psychologie de la décision en situation risquée : quand la probabilité de gagner est devenue faible, la sensibilité de l'individu à la valeur du gain a augmenté tandis que sa sensibilité aux probabilités a diminué. L'effet de certitude exprime donc que cette sensibilité aux probabilités n'est pas linéaire.

L'effet miroir. L'effet miroir trouve sa source dans le fait que les individus se comportent différemment face à un gain ou à une perte. En effet, confrontés à des jeux de hasard incluant des pertes, l'individu préfère une possibilité de perte plutôt qu'une garantie de perte, et cela même si l'espérance de perte hypothétique est supérieure à celle de la perte certaine. L'effet miroir exprime donc qu'un individu est prêt à « prendre le risque » de participer à un jeu, même s'il a conscience qu'il a plus de chances de perdre en moyenne. Avec les mêmes valeurs que dans l'exemple précédent, de nombreux individus choisiront l'option A' (0,8; -4 000) à l'option B' (1; -3 000) bien que l'espérance de perte dans le cas de A' est de 3 200. Les pertes sont donc surpondérées. L'effet miroir reflète par conséquent que l'aversion au risque, qui caractérise le comportement de la majorité d'agents économiques lorsqu'ils sont confrontés à des gains, se transforme en propension pour le risque quand ces mêmes individus sont face à des pertes : la tendance à minimiser la probabilité associée à une perte relève en fait plus de la répugnance à perdre que du goût pour le risque. La représentation de cet effet prend donc la forme d'une courbe concave pour les gains potentiels mais convexe pour les pertes potentielles (Figure 1.2), comme l'avait précédemment intuité Markowitz (1952).

L'effet de construction. Lorsqu'ils sont en situation de choix, les individus ont tendance à reformuler les données du problème pour le simplifier. Or dans la mise en forme du problème et lors du traitement des données, peuvent survenir des biais qui sont liés au fait que les individus n'ont pas une vue globale des conséquences de leurs choix. Par exemple, les individus se focalisent sur une séquence particulière quand ils sont confrontés à un choix séquentiel. De même, ils effectuent leur raisonnement en variation, d'où l'importance du référent, le choix du référent étant susceptible d'influencer leur vision du problème. Ces opérations conduisent à effectuer des choix qui contredisent les axiomes de l'utilité espérée. Kahneman (2012) prend l'exemple suivant : deux individus A et B possèdent respectivement 1 million et 4 millions d'euros. On leur propose un choix entre :

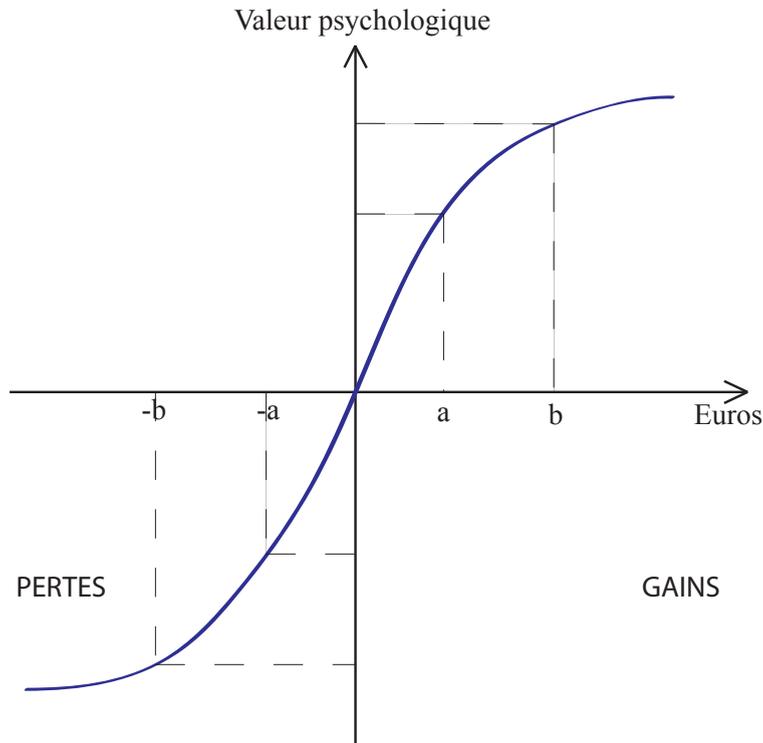


FIGURE 1.2 – Attitudes différentes en fonction de la possibilité d'un gain ou d'une perte

1. un pari risqué : une chance équiprobable de posséder 1 million ou 4 millions après le choix ;
2. une certitude : être assuré de posséder 2 millions après le choix.

Dans le modèle de Bernoulli par exemple, la richesse espérée serait de 2,5 millions s'ils choisissent le pari risqué et de 2 millions uniquement s'ils choisissent l'option certaine. Ils ont donc tous les deux intérêt à faire le choix du pari risqué. Cependant, Kahneman introduit l'idée de *situation de référence* pour expliquer pourquoi *A* sera tenté de choisir l'option certaine plutôt que le pari risqué :

- D'une part, en reprenant l'argumentation de l'effet miroir, il est confronté à des gains plutôt qu'à des pertes (individu *B*) : il sera donc averse au risque, contrairement à *B*.
- D'autre part, en raisonnant à l'aide du « pire scénario », *A* peut soit être sûr de posséder 2 millions, soit se retrouver avec la même somme qu'initialement. Il optera donc pour

doubler sa richesse. En analysant son pire scénario, B a en revanche le choix entre être assurée de perte la moitié ou les trois quarts de sa richesse : il privilégiera alors un risque. Nous pensons également que le *statu quo* et la *situation de référence* sont des éléments primordiaux, et en particulier dans une démarche d'évaluation : tout projet doit s'analyser au regard de ce qui se serait passé si ce projet n'avait pas eu lieu. L'outil CoBAYe permet ainsi d'obtenir des bénéfices et des coûts relatifs du projet (voir section 7.3).

La théorie des perspectives comme modèle alternatif à celui de l'utilité espérée

Kahneman et Tversky (1979) ont élaboré leur théorie à partir de l'observation des comportements lors des jeux de hasard, mais ils n'évoquent pas de loterie. En effet, ils prennent pour objectif de saisir les transformations que les agents opèrent sur les données, c'est-à-dire d'intégrer comment les loteries initiales sont recodées et simplifiées pour donner des « perspectives ». Ils proposent pour cela une décomposition du processus de décision en deux étapes :

1. la phase de formatage au cours de laquelle sont perçues et reformulées les données objectives du problème (*editing*) ;
2. la phase de l'évaluation au cours de laquelle la satisfaction retirée des gains et des pertes est quantifiée et les probabilités sont pondérées.

Pour évaluer chaque perspective, l'originalité du modèle de Kahneman et Tversky se situe dans les fonctions utilisées : la valeur de chaque conséquence $v(x_i)$ est multipliée par le poids de la décision $\phi(\pi_i)$, ce qui donne $\sum_i \phi(\pi_i) \cdot v(x_i)$.

La fonction de valeur $V(x)$. la fonction de valeur $V(x)$ attribuée à chaque conséquence x_i un nombre $v(x_i)$ qui reflète sa valeur subjective. Les conséquences sont définies relativement à une origine qui peut être 0 comme dans une échelle classique et $V(x)$ mesure la valeur des écarts à cette référence. Sa représentation graphique prend la forme d'une courbe en S comme expliqué dans la discussion sur l'effet miroir (Figure 1.2).

La fonction de transformation des probabilités ϕ . La fonction de transformation (ou pondération) des probabilités est la deuxième originalité du modèle : pour Kahneman et Tversky (1979), « les poids de décision ne sont pas des probabilités : ils n'obéissent pas aux axiomes

des probabilités et ne doivent pas s'interpréter comme des mesures de degré de croyance ». Ils rendent ainsi compte de l'existence d'une interaction entre les préférences et les probabilités et essaient de capter autant l'impact d'un aléa sur l'attrait d'une conséquence que l'influence d'une conséquence sur la probabilité. De plus, les probabilités peuvent être surpondérées (voir section 5.4.2) ou sous-pondérées (effet miroir). La Figure 1.3 permet de visualiser les différentes propriétés de la fonction.

- Pour traduire l'effet de certitude inspiré du paradoxe d'Allais, la propriété de *non-proportionnalité* a été introduite : plus les probabilités sont faibles, moins leurs variations sont correctement perçues par les individus. Le ratio $\frac{0,001}{0,002}$ sera perçu comme étant supérieur à $\frac{1}{2}$ et donc plus grand que $\frac{0,3}{0,6}$ par exemple.
- La propriété de *sous-certitude* admet que la somme des poids des décisions (les probabilités une fois transformées) associés) un événement et à son complément est strictement inférieure à l'unité.
- D'autres propriétés reflètent la tendance à surpondérer les probabilités lorsqu'elles prennent des petites valeurs.
- Enfin, à proximité des valeurs extrêmes, les comportements deviennent imprévisibles et la fonction cesse d'être définie, les expériences mettant en évidence que les individus ont tendance soit à assimiler les valeurs très proches de 0 ou de 1 à des certitudes, soit à refuser de les faire tendre vers la certitude.

La neuroéconomie, une éventuelle perspective de perfectionnement pour CoBAYe ?

Contrairement aux sections précédentes, cette section n'a pas pour but de présenter une partie des sous-basements théoriques de CoBAYe ou une application possible de cet outil. Elle s'intéresse plutôt à présenter une perspective de ce à quoi pourrait consister un prolongement de ce travail de recherche, dans la perspective de connaître, et même plutôt de comprendre, les facteurs qui affectent le comportement des acteurs économiques lorsqu'ils sont dans une situation d'incertitude et d'interaction entre plusieurs acteurs (une théorie des jeux dans un sens étendu et dans un registre d'économie comportementale) qui induit des interdépendances entre politiques publiques et stratégies privées.

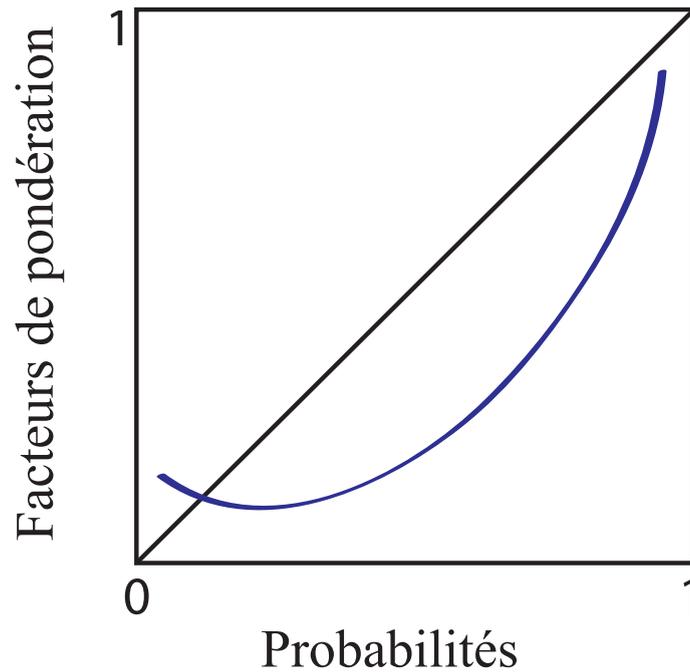


FIGURE 1.3 – Fonction de transformation des probabilités

La neuroéconomie est un domaine interdisciplinaire qui cherche à expliquer la prise de décision humaine, leur capacité à traiter plusieurs alternatives et de mener à terme leur activité. Elle étudie comment le comportement économique peut façonner notre compréhension du cerveau, et comment les découvertes neuroscientifiques peuvent orienter des modèles économiques. Elle combine des méthodes de recherche en neurosciences, en économie expérimentale et comportementale, en psychologie cognitive et sociale. De plus, à mesure que la recherche sur le comportement de la prise de décision devient de plus en plus calculatoire, elle a également intégré de nouvelles approches à partir de la biologie théorique, de l'informatique et des mathématiques. La neuroéconomie étudie ainsi la prise de décision, en utilisant une combinaison d'outils de ces domaines de manière à éviter les lacunes qui découlent de la perspective d'une approche unique.

Dans l'économie traditionnelle, l'utilité espérée et le concept d'agent rationnel, sont encore utilisés. De nombreux comportements économiques ne sont pas entièrement expliqués par ces

modèles, comme le montrent par exemple les paradoxes expérimentaux (section 1.5.2) et la théorie des perspectives (section 1.5.3). L'économie comportementale a émergé pour tenir compte de ces anomalies en intégrant les facteurs sociaux, cognitifs et émotionnels dans la compréhension des décisions économiques. La neuroéconomie ajoute une autre couche en utilisant des méthodes neuroscientifiques dans la compréhension de l'interaction entre le comportement économique et les mécanismes neuronaux. En utilisant des outils de différents domaines, les neuroéconomistes souhaitent offrir une façon plus intégrée pour comprendre la prise de décision.

Les neuroéconomistes soutiennent que peu importe à quel point les conventions standards sont étendues pour envisager des phénomènes de comportement, elles ne sont pas suffisantes : la compréhension du comportement économique nécessite des études physiologiques, et en particulier, les mécanismes neurologiques qui sont derrière le choix. Des expériences récentes relient par exemple des variables de choix théoriques à des échelles de l'activité cérébrale, des types de choix aux parties du cerveau qui sont engagées lors de la prise de ces décisions, ou encore des niveaux d'hormones au comportement Camerer (2007).

Par ailleurs, les neuroéconomistes soutiennent que « les résultats des neurosciences soulèvent des questions sur l'utilité de certaines des plus constructions les plus courantes que les économistes utilisent couramment, telles que l'aversion au risque, la préférence temporelle, et l'altruisme » (Camerer *et al.*, 2005). Ils font valoir que les preuves de la neuroscience peuvent être utilisées directement pour falsifier ou valider des hypothèses spécifiques sur le comportement. De plus, ils affirment que la théorie de l'organisation du choix et la théorie des jeux autour des abstractions de la neuroscience entraînera de meilleures théories (Gul, 2008).

1.6 Conclusion

Ce premier chapitre a présenté un bref aperçu des éléments théoriques de l'aide à la décision. La formulation choisie a pour objectif d'être synthétique et pédagogique de manière à pouvoir satisfaire un public de lecteurs divers. En revanche, les économistes peuvent passer très rapidement sur ce chapitre, qui n'est pas essentiel pour la compréhension de la suite du manuscrit, et

notamment des Parties II et III. Pour un lectorat non affûté aux questionnements économiques (et notamment en économie publique), ce chapitre permet alors succinctement :

1. Un aperçu historique et général de la théorie de l'aide à la décision (section 1.2), ciblant en particulier quatre « types » d'approche d'aide à la décision, et permettant de situer la CBA dans une approche normative et l'outil CoBAYe au sein d'une approche plutôt constructive, telle que définie par Tsoukias (2006).
2. Une présentation de quelques méthodes d'agrégation des préférences individuelles pour un outil d'aide à la décision collective (section 1.3), structurée en deux orientations : d'une part, les justifications de la théorie économique pour la décision collective et, d'autre part, les principaux théorèmes historiques caractérisant cette littérature : le théorème d'impossibilité d'Arrow et les fonctions de bien-être social qui en ont découlé. En particulier, les conséquences de ce théorème affectent tous les outils d'aide à la décision collective, dont CoBAYe (section 7.6).
3. Une distinction sur le problème de la décision en situation d'incertitude :
 - (i) initialement à travers une approche historique entre deux concepts fondamentaux caractérisant l'incertain : le *risque* et l'*incertitude* (section 1.4.1). En s'appuyant en particulier sur les définitions et caractérisations de Knight (1921) et de Keynes (1937), cette section est par la suite réappropriée au Chapitre 5, notamment avec la présentation des sources d'incertitude que souhaite prendre en compte l'outil CoBAYe.
 - (ii) ensuite à travers un bref aperçu des modèles de décision en situation de risque (sections 1.4.2 et 1.4.3), avec une présentation succincte axée sur la notion d'utilité espérée, qui est notamment utilisée dans l'exercice de la CBA.
4. Enfin, la dernière section 1.5 a présenté les principales inspirations théoriques sur lesquelles repose l'outil d'aide à la décision CoBAYe :
 - (i) Nous pensons qu'une approche positive de l'économie permet, sans contraindre le décideur, d'apporter des informations sur les comportements et anticipations des acteurs du territoire concerné, nécessaires à la prise de décision. CoBAYe aide donc à la décision en apportant plus d'informations au décideur.
 - (ii) Cette caractéristique de l'outil est d'autant plus justifiée que nous supposons que l'individu (le décideur, mais aussi les autres acteurs parties prenantes de la décision)

est soumis à une rationalité procédurale (Simon, 1955), c'est-à-dire qu'il utilise des étapes simples pour prendre ses décisions (*règles de recherche, règle d'arrêt et règles de décision* simples basées sur la satisfaction des aspirations du décideur) en fonction des informations qu'il acquiert et de l'évolution de ses aspirations (section 1.5.1).

- (iii) Les paradoxes expérimentaux (section 1.5.2) permettent de mettre en évidence un comportement de l'individu (section 1.5.3) qui nous semble approprié pour la construction d'un outil d'aide à la décision fondé sur une approche « réelle » des interdépendances des différents acteurs façonnant le territoire considéré. En effet, les paradoxes d'Allais (1953c), d'Ellsberg (1961) et la théorie des perspectives de Kahneman et Tversky (1979) permettent de mettre en évidence des modèles alternatifs de comportement de l'individu, différents de ceux des outils d'aide à la décision classique (sections 1.3 et 1.4) ;

Conscients que les débats présentés dans ce Chapitre 1 existent et ne sont pas tranchés, nous nous concentrons dans la suite de cette Partie I sur une des réponses au problème de l'aide à la décision. Ce chapitre peut ainsi être perçu comme une introduction au Chapitre 2, qui s'appuie sur quelques-unes des notions présentées pour présenter une des techniques les plus utilisées en évaluation économique de projets de transport et d'environnement : l'analyse coûts-bénéfices.

Chapitre 2

La CBA : débats et questionnements théoriques

2.1 Introduction

On peut retracer les origines de l'évaluation de projet à « *An inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* » par Adam Smith (1776), dont le message principal est que la poursuite de l'intérêt individuel avec le développement des opportunités du marché est primordiale pour la croissance économique, qui elle-même mènera à une amélioration majeure du bien-être humain. Smith n'interdisait pas au gouvernement de jouer un rôle pourvu que celui-ci ne se traduisait pas en corvée pour les individus pendant qu'ils travaillaient à avancer leurs intérêts propres. Kula (1996) définit ainsi dans la pensée Smithienne uniquement trois rôles légitimes pour le gouvernement : un rôle judiciaire, un rôle de défense nationale et un rôle de construction d'infrastructures publiques qui, du fait de leur nature, ne seraient pas d'un grand intérêt pour le secteur privé. Néanmoins, Smith ne rangeait pas beaucoup de projets dans cette catégorie et proposait que, une fois les travaux d'infrastructure publique terminés, une taxe adéquate devait être réclamée aux utilisateurs.

Plus de soixante ans après la publication de *La Richesse des Nations*, Dupuit (1844) commença à s'interroger aux coûts et aux bénéfices réels des travaux publics dans l'objectif de montrer que de tels projets étaient vraiment bénéfiques à la communauté dans son ensemble. Dans

son raisonnement, tous les coûts et les bénéfices, dont ceux qui ne relevaient pas des exploitants du projet public, devaient être évalués avant la construction des travaux - en prenant l'exemple d'un pont.

En effet, dans son article « De la mesure de l'utilité des travaux publics », Dupuit souhaitait évaluer les bénéfices sociaux de la construction d'un pont, selon deux scénarios. Celui pour lequel l'usage était conditionné au paiement d'une taxe et celui pour lequel il n'y avait pas de taxe. Il souligne ainsi que le bien-être ressenti par le consommateur dépasse le prix payé, notion aujourd'hui appelée « surplus du consommateur » après les travaux de Marshall (1890) : l'excès, par rapport au prix du marché, du consentement à payer des consommateurs pour un bien ou un service devient une mesure du bénéfice net social d'un projet. Toutefois, malgré les traités majeurs de Marshall (1890) et de Hicks (1939), il a fallu attendre les années 1950 pour de nouvelles utilisations dans l'application du surplus du consommateur de Dupuit (Puttaswamaiah et Venu, 1984). Aujourd'hui, les économistes relient le concept du prix non payé au surplus du consommateur et s'accordent pour affirmer que Dupuit était le premier à l'identifier.

La pratique formelle de l'analyse coûts-bénéfices a commencé dans le secteur public dans le but d'aider à la prise de décision au sein du gouvernement. D'abord adoptée par le gouvernement fédéral des États-Unis pendant les années 1930 pour évaluer des dépenses publiques de projet, la technique s'est développée et a pris la forme de l'analyse coûts-bénéfices (CBA) par la suite, s'exportant même en Grande-Bretagne dans les années 1960 aussi bien qu'aux autres pays occidentaux. La technique traditionnelle a donc évolué dans le contexte des pays industrialisés les plus avancés. Une variante, désignée par le nom de l'analyse coûts-bénéfices « moderne », a été créée dans les années 1970, adaptant l'analyse traditionnelle pour traiter des circonstances spéciales des pays moins développés et fournir de l'information pour aider à des décisions dont le financement est multilatéral (Fuguitt et Wilcox, 1999).

Pendant ce temps, l'utilisation de la CBA traditionnelle a continué à se développer. Dans les années 1980 et 1990, l'exigence d'utiliser la CBA pour appuyer des décisions importantes, à laquelle avaient été soumises les agences fédérales de régulation aux États-Unis, s'est étendue

aux niveaux les plus élevés de prise de décision publique, y compris les branches exécutives et législatives du gouvernement fédéral que l'état et les gouvernements locaux.

Aux États-Unis, ce passage de l'outil purement économique à un outil d'amélioration du bien-être social a d'ailleurs été acté le 17 février 1981 par l'*Executive Order 12291* du Président Ronald Reagan. En effet, pour réformer l'administration fédérale états-unienne, et de sorte à réduire le fardeau des textes de loi et règlements présents et futurs et s'assurer de leur bien-fondé, Reagan décrète qu'une action régulatrice de l'Etat fédéral ne pourra être entreprise que si les bénéfices potentiels qu'en retireraient la société sont supérieurs aux coûts potentiels pour cette société¹ (Reagan, 1981). Pour certains d'ailleurs, l'importance prise de la CBA dans les processus d'aide à la décision publique est la meilleure façon (à l'époque) d'injecter de la discipline et de la rationalité dans les agences de régulation états-uniennes, trop souvent tentées de se plier aux exigences de la morale ou d'autres intérêts contraires à l'analyse rationnelle (Miller, 1989).

En plus de son application croissante aux Etats-Unis et autour du monde, la polyvalence de la technique a été prouvée par son utilisation à une large gamme de décisions dans de nombreux domaines. En effet, la CBA a été appliquée pour évaluer des projets de dépense publique tels que des projets de ressource en eau potable, des projets de transport, des plans d'urbanisme, des programmes d'éducation, des politiques de santé et de nutrition, des projets de dépollution et de préservation d'espèces en danger, mais aussi pour évaluer des régulations gouvernementales dans les domaines de la santé, de la sécurité et de l'environnement.

Le cadre d'analyse tenant compte des coûts et des bénéfices a une portée très vaste, allant bien au-delà des variables qui attirent l'attention usuelle au sujet des techniques habituelles liées à l'application de la CBA. En effet, la procédure ordinaire d'examiner, d'une manière générale, les bénéfices et les coûts associés à des possibilités alternatives, puis d'évaluer leurs avantages respectifs est utilisable dans une grande diversité de questions, en partant de l'évaluation économique du développement ou de la qualité de vie (Mehrotra et Jolly, 2000) jusqu'à scruter l'étendue de l'inégalité (Sen, 1997), de la pauvreté et de la disparité entre les sexes (Nussbaum et Sen, 1995).

1. Traduction de : « *regulatory action shall not be undertaken unless the potential benefits to society from the regulation outweigh the potential costs to society* », Executive Order 12291, Section 2(b).

La CBA tente de résoudre des problèmes d'action collective, qui surviennent lorsque des individus ou des groupes qui poursuivent des intérêts privés sans coordination arrivent à des résultats qui sont collectivement inférieurs à ceux qui pourraient être atteints en étant coordonnés. La CBA a donc été développée comme une règle de décision de coordination qui pourrait résoudre des problèmes d'action collective et aboutir à des résultats qui sont préférés (Porter, 1995). Par ailleurs, Lave (1996) défend la CBA en tant qu'outil permettant aux analystes de systématiquement penser aux questions sociales, à la recherche d'informations et à mener des analyses pour éclaircir les conséquences de décisions. Ainsi, pour Railton (1990), une fois que l'analyse coûts-bénéfices est comprise comme un processus dont le but est de produire de l'information plutôt qu'un outil pour prendre des décisions, il n'est plus nécessaire aux praticiens de l'analyse coûts-bénéfices de prendre parti dans des débats controversés sur l'éthique de la CBA par exemple.

Enfin de façon pratique, l'analyse coûts-bénéfices consiste en l'application des étapes suivantes (Lave, 1996) :

1. Premièrement, l'analyse doit définir le problème : quels éléments sont à considérer, quels sont les remèdes possibles, et les buts. L'analyse doit en effet bien établir les buts, pour éviter des éventuelles incompréhensions voire quiproquos dans la conduite de l'analyse.
2. L'analyse doit identifier tous les moyens possibles pour réaliser les objectifs recherchés.
3. L'analyse doit quantifier les bénéfices et les coûts de chaque option, et seulement quand cela est raisonnablement possible, ils doivent être traduits en une unité monétaire.
4. Dans le cas où il y a une grande controverse, l'analyse doit mettre l'accent sur une approche systématique et analytique qui utilise toutes les informations pertinentes et aide à structurer un calendrier de recherche pour rassembler celles qui sont importantes mais absentes.
5. L'analyse doit spécifier la perspective et les hypothèses théoriques sur lesquelles elle s'appuie. Les questions d'équité associées à la nature des payeurs et des bénéficiaires sont d'une importance primordiale.
6. L'analyse doit énoncer les conséquences différentes en fonction de l'usage de différents taux d'actualisation.

7. Par ailleurs, les incertitudes « doivent être analysées ». Toutes les étapes précédentes sont remplies d'incertitude, à partir de la quantification jusqu'au choix du taux d'actualisation.
8. Finalement, l'analyse doit interpréter les résultats, car ni les faits ni l'analyse ne vont « parler d'eux-mêmes ».

Ce chapitre ne se concentre cependant pas sur les méthodes pratiques pour réaliser une analyse coûts-bénéfices, mais plutôt sur les questions et débats théoriques qui ont parsemé chacune des étapes précédemment mentionnées au cours des trente dernières années. Comme nous l'avons présenté dans le Chapitre 1, la CBA suit une approche normative de l'aide à la décision collective, consistant à identifier les conséquences d'une décision, certaines et parfois incertaines (au sens de l'incertitude probabiliste), pour ensuite en attribuer une valeur monétaire. Aussi, après avoir brièvement présenté les fondements théoriques sur lesquels repose la CBA en section 2.2, les sections suivantes développeront en détail les questions les moins consensuelles relatives à :

- la nature des individus (section 2.3) et des effets (section 2.4) à prendre en compte dans une CBA,
- les techniques de valorisation monétaire de ces effets identifiés (section 2.5), ainsi que
- les éléments à aborder en situation d'incertitude (section 2.6).

L'intérêt de ce chapitre est donc de présenter au lecteur les questions théoriques sur lesquelles se fonde la pratique de l'analyse coûts-bénéfices, rarement mises en évidence dans les évaluations pratiques. Il constitue donc un préalable à l'analyse de certaines des limites de la pratique par rapport à la théorie (Chapitre 3).

2.2 Aperçu des fondements politiques et économiques sur lesquels s'appuie la CBA

Cette première section présente un bref aperçu des fondements théoriques de l'analyse coûts-bénéfices, pré-requis nécessaire des sections suivantes, qui entrent plus en détail sur les questions qui ne font pas consensus dans la communauté des théoriciens de la CBA.

2.2.1 Conditions politiques

Le principe de Pareto

Pour aboutir à des résultats nets sociaux et non individuels, la CBA prend appui sur des concepts théoriques liés à la justification d'une politique économique, qui ont longtemps été débattus. En particulier, avec l'abandon de l'utilité cardinale et de la comparaison interpersonnelle des utilités, les économistes ont cherché un autre concept sur lequel s'appuyer pour justifier la politique économique. Pareto (1906), qui était le premier à laisser de côté l'utilité cardinale, proposa une solution partielle : il suggéra qu'une politique économique serait considérée comme souhaitable si, parmi les changements qu'elle occasionnait, à la fois personne ne percevait une détérioration de son bien-être et que le bien-être d'au moins un individu se trouvait amélioré.

Le principe de compensation

L'approche de Kaldor Théoriquement, le principe de Pareto faisait sens, mais seules peu de politiques publiques pouvaient le vérifier. Kaldor (1939) proposa par conséquent le principe de compensation pour justifier une politique économique. Celui-ci affirme que la politique est souhaitable si ceux qui sont gagnants grâce aux changements économiques qu'elle occasionne sont en mesure de compenser ceux qui en sont perdants et si, une fois la compensation effectuée, ils bénéficient toujours d'un bien-être amélioré. Kaldor introduisit ainsi une méthode de compensation « virtuelle », puisque si la compensation a effectivement lieu, nous nous retrouvons dans le cas précédemment énoncé de Pareto.

Critique et approche de Scitovsky Selon Kaldor, il n'est pas nécessaire que la compensation soit effectivement offerte : seule la *possibilité* de mener cette opération est intéressante à ses yeux. Ainsi, le seul fait que la compensation est possible est une preuve que la politique économique engendre plus de bienfaits que d'inconvénients et demeure, en ce sens, souhaitable. Scitovsky (1941) note cependant une incohérence dans le raisonnement de Kaldor : selon lui, il existe en effet des cas pour lesquels un changement d'une situation A à une situation B pourrait satisfaire le critère de Kaldor, mais le passage de B à A le pourrait également. Depuis sa remarque, il est coutume d'accepter qu'une mesure qui vérifie le critère de Kaldor est souhaitable si la mesure inverse ne vérifie pas elle aussi ce critère.

Le critère de Kaldor-Hicks permet certes de rendre plus praticable la prise de décision publique, mais s'il n'y a pas de compensation effective, ce critère aboutirait à des résultats sans doute rejetés par tout individu rationnel (notamment ceux qui ne bénéficient pas de ladite compensation). Pour certains d'ailleurs, la mise en œuvre effective de cette compensation est précisément le pré-requis fondamental qui aboutira à l'acceptation de la décision publique pour la société (Raterman, 2012). Or, dans la pratique, la compensation est ardue voire impossible, ne serait-ce que parce que l'identification des populations de bénéficiaires et de perdants n'est pas aisée, et encore moins l'identification de leur consentement à payer ou à recevoir comme compensation. En effet, le critère de Kaldor-Hicks fait implicitement l'hypothèse qu'une unité monétaire des bénéfices est fongible et qu'une unité monétaire de coûts est indépendante de l'individu qui doit le subir (Lave, 1996), ce qui n'est *a priori* pas concevable pour un décideur public par exemple. Comment en effet garantir que les bénéficiaires seraient volontaires pour attribuer une partie de leurs gains aux perdants ; les deux groupes étant hétérogènes et difficilement localisables géographiquement, pour ne citer que ces deux caractéristiques ? Certains partisans du critère de Kaldor-Hicks persistent toutefois à en trouver une version applicable dans la pratique, par exemple en proposant de calculer la valeur la moins importante du consentement à payer des bénéficiaires en tant que compensation (Zerbe Jr., 1991), même si le critère de Zerbe ne fait que montrer que les bénéfices nets sont légèrement moins importants que dans le cas du critère de Kaldor-Hicks : tant que la compensation n'est pas effectuée dans la pratique, le scepticisme sur son applicabilité perdure.

Baumol et l'intégration de la moralité Il est ainsi devenu progressivement évident que le critère de Kaldor-Scitovsky ne résout pas les problèmes associés à l'économie du bien-être (Baumol, 1946). En effet, Baumol propose une critique des travaux de Hicks (1939) et de Kaldor (1939) en se basant sur l'ouvrage fondamental de Marshall (1890) et en comparant les satisfactions différentes que peuvent avoir des individus aux fortunes très éloignées².

« Pour prendre une illustration crue, faisons l'hypothèse que tous les individus qui sont bénéficiaires d'une innovation sont très riches alors que tous ceux qui sont perdants sont d'un état de pauvreté absolue. Est-il alors raisonnable de faire l'hypothèse que la valeur subjective de l'argent ne varie pas d'un groupe à l'autre ? Je pense qu'il

2. « ... a pound's worth of satisfaction to an ordinary poor man is a much greater thing than a pound's worth of satisfaction to an ordinary rich man... » (Marshall, 1890, p.130).

est clair que sous l'hypothèse de l'éthique utilitariste à laquelle tous les économistes (moi-même inclus) sont jusqu'à un certain point soumis, le fait que le groupe le plus riche a gagné (en termes monétaires) un peu plus que ce que le groupe le plus pauvre a perdu est une preuve bien maigre qu'il y a effectivement bien un équilibre entre les satisfactions et les mécontentements. En effet, il paraît très probable que la même quantité d'argent représenterait une perte beaucoup plus importante pour le groupe le plus pauvre que le gain correspondant pour le groupe le plus riche. »

(Baumol, 1946, p.45, traduction)

Pour Baumol, le critère de Kaldor (et malgré l'amélioration apportée par de Scitovsky) n'a pas permis de dépasser l'obstacle de la comparaison interpersonnelle de l'utilité. Celui-ci a juste été remplacé par l'étalon de mesure qu'est l'argent, mais qui est pourtant subjectif en fonction des individus concernés. En effet, la difficulté réside plutôt dans le fait qu'il n'existe pas à ce moment-là de critère « objectif » pour une distribution optimale de revenus et que, quel que soit le problème qui relève de l'économie du bien-être, les économistes sont contraints d'utiliser comme unité de mesure la distribution de revenus, donnée qui ne permet pas de fonder une base de recommandation fiable à destination des décideurs.

La demande d'évaluation explicite

Pour Sen (2000b), la première condition théorique nécessaire qu'impose la CBA en tant que discipline est la « demande d'évaluation explicite ». Il s'agit d'une demande vigoureuse pour une justification complète, ce qui implique de rejeter les positions généralement adoptées consacrées aux décisions fondées sur la tradition, la connaissance tacite, l'intelligence, et ce que l'on sait juste sans pourtant savoir pourquoi. Au risque de simplifier ce concept, la demande d'évaluation explicite traite de l'insistance d'une approche rationnelle, qui demande la pleine explication de toutes les raisons avant de prendre une décision, plutôt que de s'appuyer sur une conviction non-rationnelle ou sur une conclusion implicite dont elle dérive.

Malgré son attrait rationnel, l'évaluation explicite en tant que principe n'est pas sans problème. Si l'on devait insister sur ce principe dans toutes les décisions personnelles, la vie serait tout à fait insupportable et compliquée (Shapiro, 1997). Cependant, une des caractéristiques des décisions

publiques par rapport à leurs consœurs privées ou les actions personnelles est justement ce besoin d'explicitement tous les choix. En effet, ceux qui ne sont pas impliqués dans la décision peuvent légitimement vouloir exactement savoir pourquoi une décision, plutôt qu'une autre, est prise. Les exigences de reddition de comptes ne s'appliquent pas seulement à la mise en œuvre, mais aussi aux choix de projets et programmes. Par conséquent, bien qu'il peut parfois y avoir consensus sur une décision même si les fondements exacts pour cette décision ne sont pas explicitement affirmés³, l'évaluation explicite est plus nécessaire dans les décisions publiques que dans les actions privées (Sen, 2000b).

2.2.2 Hypothèses économiques

Les individus sont rationnels

La CBA suppose souvent implicitement dans l'esprit de ses utilisateurs que les consommateurs et les producteurs agissent « pour satisfaire leur besoins personnels et en information parfaite (tel que décrit dans l'expression « *Homo economicus* ») [...]». Ils sont par conséquent motivés premièrement par leurs intérêts et prennent des décisions qui maximisent leur bien-être » (Robinson et Hammitt, 2011). Selon ces hypothèses, la rationalité des individus n'est pas limitée, ce qui signifie que les individus ont une capacité infinie pour traiter et analyser des informations, et résoudre des problèmes de façon optimale (Thaler et Mullainathan, 2008). Ainsi sont-ils capables de choisir en connaissant toutes les possibilités et de donner une valeur monétaire à leurs choix de consommation ou de production, non seulement pour le bien (ou le service) produit ou consommé mais aussi pour le second meilleur choix : en d'autres termes ils peuvent évaluer monétairement les coûts et les bénéfices de leur choix par rapport au « *second best* ». Ainsi lorsqu'ils calculent leurs surplus, s'agit-il toujours d'un surplus net puisque le revenu qu'ils dépenseront pour consommer le nouveau bien ne sera plus disponible pour un autre bien.

Les marchés sont parfaits

De plus, la CBA, en suivant le courant néoclassique dans sa forme la plus simple, fait l'hypothèse que les marchés sont parfaits. Les échanges se réalisent sous la condition de concurrence pure

3. C'est ce que Sunstein (1998) appelle « *incompletely theorized agreements* », qu'on pourrait traduire par « accords incomplètement théorisés ».

et parfaite, dont les hypothèses impliquent une information parfaite sur les marchés et une maximisation de l'utilité (comme évoqués précédemment), mais aussi l'absence de monopole pouvant fixer des prix, l'absence de barrières à l'entrée ou à la sortie, un accès égal à tous les facteurs de production, et pas d'externalités. Fondé sur ces hypothèses, elles-mêmes étant une partie des conditions de l'équilibre général de Walras (1874), l'équilibre est atteint dans une CBA en se reposant sur un optimum de Pareto (et plus tard, un optimum de Kaldor-Hicks) (Debreu, 1959).

Les préférences révèlent le comportement des individus

La théorie des préférences révélées, élaborée en premier par Samuelson (1938), est une méthode d'analyse des choix faits par les individus, et principalement utilisée pour comparer l'influence des certaines mesures sur le comportement des consommateurs. Les modèles de cette théorie supposent que les préférences des consommateurs peuvent être révélées par leurs habitudes d'achat.

À l'origine, avant cette théorie, les choix du consommateur étaient fondés sur leur rationalité de maximiser leur utilité. Or les fonctions d'utilité ne pouvaient pas être mesurées avec une grande certitude. La théorie des préférences révélées fut donc créée pour résoudre ce problème comme un moyen de réconcilier la théorie de la demande en définissant des fonctions d'utilité par l'observation du comportement des consommateurs. Cette théorie est utilisée dans l'analyse coûts-bénéfices en particulier. En effet, cet outil fait l'hypothèse que les agents économiques « choisissent ce qu'ils veulent, i.e. [...] leurs préférences sont révélées à travers leur comportement » (Robinson et Hammitt, 2011). Cette hypothèse est aussi prise en compte dans CoBAYe : nous considérons en effet que les comportements des individus permettent de révéler leurs préférences, même si (et en particulier si) ce comportement peut ne pas être rationnel.

Aujourd'hui toutefois, la théorie des préférences révélées est largement utilisée en économie de l'environnement, par exemple, pour attribuer une valeur monétaire à des biens et services environnementaux non-marchands. L'analyse contingente est un des outils utilisés pour mener ce type de recherche, même si les résultats de ces méthodes ne font pas encore consensus (Carson et Flores, 1996; Bateman *et al.*, 2002; Beukers *et al.*, 2012). Enfin, pour pouvoir s'intéresser au

comportement des individus, il est évidemment nécessaire de savoir de quels individus l'analyste doit tenir compte, ce qui ne fait pas non plus consensus.

2.3 De qui faut-il tenir compte ?

Dans une analyse coûts-bénéfices sociale, lorsqu'elle n'est pas triviale, le choix des individus à prendre en considération n'est pas aisé : est-ce que tout un territoire doit être envisagé ? ou une échelle plus locale ? et à l'intérieur de ce périmètre, de quels individus doit-on tenir compte ? tous ? seuls ceux en âge de voter aujourd'hui ? ou les générations futures également ? Cette section présente un aperçu de quelques-uns des débats théoriques qui ont tenté de justifier le choix de la prise en compte de certaines catégories d'individus - ou, au contraire, de les exclure - dans la pratique de l'analyse coûts-bénéfices.

2.3.1 Chaque individu est spécifique

La technique d'évaluation contingente, fondée sur des enquêtes de consentement à payer ou à recevoir pour être en mesure de profiter de bénéfices environnementaux, est une des techniques phares utilisées en économie de l'environnement (Hanemann, 1994; Arrow, 2001) pour attribuer une valeur monétaire à des biens ou services non-marchands (voir section 2.5.2).

Toutefois, des biais existent et sont à prendre en compte dans la technique. Evans *et al.* (2011) montrent par exemple que la nature des réponses à une enquête sur le consentement à payer des répondants pour pouvoir bénéficier d'une meilleure qualité de l'air évolue en fonction de leur rôle au sein de leur ménage ; en particulier, il existerait une corrélation positive entre la valeur de leur consentement à payer et les contributions en temps ou en argent dont ils peuvent bénéficier grâce aux relations de dépendance au sein du ménage. Ainsi, en fonction des individus pris en compte au cours de la technique de valorisation monétaire, les résultats peuvent être différents.

2.3.2 La prise en compte des générations futures

Les politiques environnementales ont pour la majorité des bénéfices dans le futur. Sur les questions du changement climatique par exemple, les bénéfices d'actions publiques actuelles ne

sont attendus que dans vingt, voire cinquante ans (GIEC, 2007, 2013). Dans la conduite de l'évaluation d'une telle action publique, faut-il par conséquent prendre en compte les préférences de ceux qui jouiront de ces bénéfices dans cinquante ans ?

Pour Trumbull (1990), tous ceux qui sont affectés par une action publique - dont les générations futures - doivent être pris en compte. Les critiques sont toutefois féroces : en effet, si aujourd'hui, le cadeau que l'on a choisi d'offrir à un de nos amis pour son anniversaire a déjà de minimes chances de lui faire plaisir, comment peut-on espérer connaître les préférences individuelles d'une génération cinquante ans plus tard, quand bien même il s'agirait de nos proches (Lave, 1996) ?

2.3.3 « Les individus honnêtes et les votants »

Parmi les individus à prendre en compte dans la CBA, Trumbull (1990) ajoute également qu'il ne faut pas tenir compte des bénéfices et des coûts de ceux qui transgressent la loi. Par ailleurs, Zerby Jr. (1991) avance quant à lui l'argument que seuls doivent être pris en compte les effets de ceux qui ont le droit de voter ou de poursuivre en justice. Il reprend l'exemple de l'accident nucléaire de « *Three Mile Island* » et la décision de justice qui a suivi⁴ pour illustrer que dans ce cas présent, les coûts psychologiques de ceux vivant à proximité de « *Three Mile Island* » ne doivent pas être pris en compte dans l'analyse coûts-bénéfices.

2.3.4 Le territoire

Enfin, l'interaction entre le territoire et ses acteurs est également importante à considérer dans la CBA. Par exemple, une CBA menée sur les Parisiens et une autre ou sur les individus qui traversent le territoire parisien en journée ne vont sans doute pas donner les mêmes résultats :

4. L'accident nucléaire de « *Three Mile Island* » s'est produit le 28 mars 1979 dans la centrale nucléaire de « *Three Mile Island* » (3,3 km²). L'île est située sur la rivière Susquehanna, dans l'État de Pennsylvanie aux États-Unis. À la suite d'une chaîne d'événements accidentels, le cœur du deuxième réacteur de la centrale de « *Three Mile Island* » (TMI-2) a en partie fondu, entraînant le relâchement dans l'environnement d'une faible quantité de radioactivité. Les experts nucléaires ayant apparemment affirmé qu'il n'y avait pas de raison d'avoir peur, la « *US Supreme Court* » a rejeté les attaques en justice des résidents de « *Three Mile Island* » pour dommages psychologiques. Comme ils n'ont pas eu le droit de poursuivre en justice, et donc de se défendre, Zerby Jr. (1991) affirme que les dommages et les coûts psychologiques que ressentent leurs accusés ne doivent pas être pris en considération dans une CBA.

il est donc nécessaire de bien définir la population que l'analyste cherche à identifier et dont il souhaite connaître les coûts et les bénéfices.

La nature et le rôle des acteurs pris en considération dans l'analyse coûts-bénéfices a donc son importance, et les choix opérés ne sont pas sans conséquences, puisqu'ils contribuent à modifier les conséquences à envisager, mais aussi les valeurs monétaires qui y sont associées. Les débats montrent pourtant qu'il est difficile de s'accorder sur une catégorie d'individus générique et qui fasse l'unanimité. De même, la nature des conséquences à prendre en considération dans la CBA est également un sujet très débattu, encore aujourd'hui, comme le présente la section 2.4.

2.4 Quels effets prendre en considération et comment les identifier ?

2.4.1 Une décision privée requiert-elle une CBA ?

Pour des raisons évidentes de rareté des ressources, une CBA ne peut pas être menée pour aider à la prise de toutes les décisions : une sélection des thèmes doit être faite, et celle-ci est bien souvent du ressort du décideur (public ou privé⁵) qui décide de payer pour une CBA (Hansson, 2007).

Le choix de mener une CBA en fonction du secteur est d'ailleurs contrasté. Par exemple, des décisions privées qui donnent lieu à une augmentation de la pollution ne sont pas tenues de passer un test montrant que leurs effets totaux, y compris les externalités, ont un solde positif. En revanche, procéder à une telle évaluation est nécessaire dans le cas des décisions réglementaires

5. En général, les analyses coûts-bénéfices sont beaucoup plus fréquentes dans le secteur public que dans le privé. Il est probable que la principale explication est que les gouvernements ont la responsabilité de l'ensemble des effets sociaux et économiques des activités du secteur public alors que les chefs d'entreprise n'ont que celle des actions de leur établissement. Par ailleurs, certains décideurs publics ont pour souhait d'alléger le fardeau des entreprises, qui est imposé par la réglementation et d'autres mesures prises dans le secteur public. Les CBA peuvent ainsi mettre en évidence les conséquences prévues pour les entreprises des mesures et règlements proposés, et peuvent par conséquent souvent être utilisées comme outils pour retarder des règlements qui seraient coûteux pour les entreprises concernées. En revanche, il serait difficile de trouver des chefs d'entreprises qui, de manière analogue, utilisent les CBA comme un moyen d'alléger le fardeau de leurs concurrents ou pour s'inquiéter des coûts externes engendrés par leurs entreprises. Ils seraient sans doute plus en demande d'un outil qui leur permettrait d'anticiper les réactions de leurs concurrents quant à leurs actions sur un marché.

qui réduisent la pollution⁶. Cette distinction peut néanmoins s'avérer problématique. Supposons, par exemple, que les décisions sur les investissements dans les infrastructures publiques sont fondées sur des CBA qui prennent en compte les effets négatifs de ces investissements sur tous les secteurs de la société, tandis que les investissements d'infrastructure privés sont basés sur des calculs d'activité dans lesquels aucune externalité n'est prise en compte. Cela aboutirait à différents investissements dont l'évaluation dépendrait de critères différents. Cette différence peut être perçue comme une forme de préjugé contre les investissements du secteur public, pour qui il est nécessaire d'équilibrer les coûts indirects alors que les investissements privés n'ont rien à entreprendre de façon légale.

Ainsi, la CBA est un outil utilisé pour aider à la décision collective mais, à cause des difficultés d'agrégation des préférences individuelles ou de l'absence de certaines fonctions d'utilité, les résultats émanant de cette évaluation comprennent quelques incertitudes, ce qui peut en réduire la portée. On peut pourtant se demander quelle efficacité a l'outil en matière de décision privée. Peu de personnes souhaitent prendre leurs décisions sur des critères de maximisation de leurs bénéfices nets. Ils ne cherchent pas à transcrire les multiples composantes façonnant leur choix en un même scalaire et encore moins cherchent-ils à en trouver une traduction monétaire (Fischhoff, 1977).

2.4.2 Prendre en compte tous les effets possibles : une démarche exhaustive

Théoriquement, une analyse multidimensionnelle

Dans les années 1960, aux États-Unis, un consensus existait quant à la simplicité des analyses coûts-bénéfices réalisées (Campen, 1986). En effet, il était déjà reconnu que les bénéfices sociaux étaient multidimensionnels. Par exemple, la construction d'un barrage pourrait fournir non seulement un moyen de contrôler les inondations mais aussi une production d'électricité, une

6. Aux États-Unis, par exemple, à travers l'« *Executive Order* » No 12291, section 2b, du 17 février 1981, aucune action publique ne doit être prise si les bénéfices pour la société ne sont pas supérieurs aux coûts que celle-ci doit supporter. En France, et plus récemment après le Grenelle de l'Environnement, la loi organique du 15 avril 2009 (Loi Organique relative à l'application des articles 34-1, 39 et 44 de la Constitution, No 2009-403, article 8), qui a pris effet en automne de la même année, précise que les projets de loi que le gouvernement souhaite présenter au pouvoir législatif doivent être accompagnés d'une analyse d'impact (IA). En particulier, celle-ci doit tenir compte de l'évaluation de l'impact économique, financier, sur l'emploi et sur l'environnement, ainsi que les coûts financiers et les bénéfices attendus des dispositions envisagées pour chaque catégorie de l'administration publique ainsi que les personnes physiques et morales concernées, en indiquant la méthode de calcul utilisée (Rose-Ackerman, 2010)

fourniture d'eau régulière tout au long de l'année et même un lac à des fins récréatives. En même temps, un agrandissement du barrage avait également des effets multidimensionnels. Étant donné l'inondation des terres pour la création du réservoir, une certaine quantité de poissons et de plantes serait menacée d'extinction dans ces lieux. D'autres effets existent également, bien que plus difficiles à classer. Certes, le lit majeur de la rivière est à présent protégé d'inondations récurrentes, mais celle-ci est toujours sujette à quelques inondations, ce qui peut créer des problèmes dans la valorisation monétaire de certains événements. Comment dans ce cas trouver une valeur qui exprime le fait que la région est plus protégée des inondations fréquentes mais qui, en même temps, caractérise le fait qu'une inondation majeure peut avoir un impact beaucoup plus dangereux (Lave, 1996) ? Beaucoup de « petites » externalités similaires ne sont malheureusement pas prises en compte dans la conduite d'analyses coûts-bénéfices.

Le « *super synopticism* »

En principe, les CBA sont destinées à couvrir tous les aspects pertinents pour le choix des alternatives en cours d'évaluation. La façon la plus évidente d'y parvenir est de faire en sorte que la CBA soit aussi englobante que possible. Par conséquent, certains analystes s'efforcent souvent d'encadrer les décisions dans de grandes unités coordonnées qui couvrent autant d'aspects que possible. Les tentatives visant à combiner les aspects et domaines d'action publique dans de grands programmes de décision unifiés ont été appelés « *super synopticism* » (Hornstein, 1993). Si une optimisation parfaite couvrant tous les aspects est faisable, alors il semble évident que les décisions doivent être prises au sein d'ensembles aussi grands que possible, de sorte que tous les aspects soient combinés. Cependant, pour Hansson (2007), une telle optimisation à grande échelle ne fonctionne pas toujours, pour au moins trois raisons :

1. Il peut parfois être impossible de recueillir et de traiter des quantités massives d'informations avec une efficacité suffisante. Cette tâche requiert de surcroît un haut niveau de coordination entre les domaines d'action publique ;
2. En raison de limitations cognitives, il se peut que les décideurs soient moins compétents plus la complexité de la tâche est importante ;

3. D'un point de vue démocratique, des procédures qui subdivisent les décisions peuvent être préférables. En effet, leur mise en œuvre peut être facilitée si les décisions ont la légitimité obtenue dans des procédures participatives décentralisées.

L'interaction de multiples composantes d'un projet entre elles

Alors que l'analyse devrait prendre en compte les multiples composantes du projet à évaluer ainsi que leur interaction entre elles, cela est rarement le cas dans la pratique (Lave, 1981). Lave (1984) déplore également l'absence de prise en compte par le décideur public de ces décisions simultanées et parfois non-optimales, voire contradictoires. L'exemple qu'il prend est le suivant. À travers le cas de trois décisions prises par l'Agence pour la Protection de l'Environnement des États-Unis⁷ dans les années 1970, à savoir :

1. d'une part l'interdiction pour une entreprise de se débarrasser de ses déchets dans les rivières,
2. d'autre part l'interdiction d'émettre des polluants atmosphériques
3. et, finalement, la régulation de l'émission des déchets sur terre, pour éviter une pollution du sol,

à quoi s'ajoute la décision de l'Agence pour la Sécurité et la Santé⁸ d'obliger les entreprises à protéger leurs employés de toute exposition dangereuse aux produits chimiques, l'auteur montre que la prise de décision non concertée et surtout non intégrée peut aboutir à des injonctions contradictoires et déboucher sur une perte d'utilité notable pour les entreprises concernées. Cette approche des décideurs publics qui consiste à évaluer leurs politiques « une par une » peut en effet paraître non-optimale. Il s'agit d'ailleurs d'une des raisons qui justifient la volonté de prendre en compte les « *opportunity benefits* » dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe (voir section 4.6.2).

Des limites dans l'identification des effets

Il est clair qu'un des souhaits de la CBA est que les problèmes de caractérisation définis aux trois sections précédentes doivent être traités de manière uniforme, de sorte que toutes les décisions possibles soient examinées de la même manière. Cela est nécessaire pour éviter les biais.

7. « *Environmental Protection Agency* » en anglais.

8. « *Occupational Safety and Health Administration* » en anglais.

Cependant, d'autres spécifications sont requises afin d'être le plus objectif possible dans l'analyse, et plus spécifiquement dans l'identification des effets nécessaires à envisager.

L'inclusion maximale et l'asymétrie entre effets positifs et négatifs. Le critère d'identification le plus évident pour l'analyse coûts-bénéfices est l'inclusion maximale, c'est-à-dire le fait d'inclure toutes les conséquences qui peuvent être identifiées. C'est en effet la réponse standard à la critique principale des détracteurs, pour lesquels la CBA laisse de côté des facteurs importants de l'analyse (Sen, 2000b). L'autre réponse majeure à cette accusation est que la CBA n'est pas le dernier mot, mais doit être suivie d'une discussion qui inclut des aspects absents de l'analyse. Cette réponse est particulièrement utilisée de façon régulière pour défendre le fait que la CBA laisse de côté les questions de justice distributive, « hors de la portée de l'analyse coûts-bénéfices » (Copp, 1987, p. 71). Par ailleurs, pour Schmidt (2001), quand une proposition échoue au test de la CBA, aucune autre discussion n'est justifiée. À l'inverse, si la proposition passe le test de la CBA, alors elle peut néanmoins échouer un test ultérieur de distribution sur un critère éthique. Pour Hansson (2007), il s'agit là d'une étrange asymétrie, car cette assertion interdit les mesures qui ont un effet distributif très positif, mais dont le coût total est légèrement supérieur à celui des bénéfices (non-distributifs) totaux. En pratique toutefois, le principe d'inclusion maximale est rarement appliqué, puisque les conséquences sont extrêmement difficiles à exprimer sous une forme qui soit accessible à l'analyse quantifiée. Les analystes ambitieux ont donc introduit la variante suivante de l'inclusion maximale : inclure toutes les conséquences qui peuvent être identifiées et quantifiées. Néanmoins, ces deux principes peuvent à la fois donner lieu à des sélections biaisées des conséquences. Cela se produit notamment s'il existe des différences systématiques entre les effets positifs et négatifs de telle sorte que l'une des deux catégories est plus facile à identifier (dans le cas du principe d'inclusion maximale) ou plus facile à quantifier (dans le cas de sa variante) que l'autre. En économie de l'environnement, par exemple, plusieurs mécanismes qui peuvent donner lieu à de tels préjugés ont été mis en évidence. Certains auteurs affirment en effet que, dans l'analyse d'un projet de régulation, l'accent est généralement beaucoup plus mis sur les effets secondaires négatifs possibles plutôt que sur les positifs (Hofstetter *et al.*, 2002). Les effets ainsi nommés « de vigilance » du règlement sont des cas d'effets positifs qui peuvent éventuellement être négligés : par exemple, la promulgation d'une nouvelle régulation sur la santé et la sécurité peut rendre les gens plus sensibles aux besoins

de sécurité qui vont au-delà de ladite réglementation (Rascoff et Revesz, 2002), alors que les analystes auraient tendance en premier lieu à n'envisager que les bénéfices explicitement délimités dans le cadre de la régulation.

Les effets dus à l'innovation. Une autre classe importante d'effets de la réglementation, potentiellement positifs mais difficiles à inclure dans une CBA sont les effets dus à l'innovation. Dans une CBA, les estimations des coûts de mise en conformité sont habituellement basées sur la technologie disponible au moment de l'évaluation. Il ne semble en effet pas responsable de supposer que des technologies encore inconnues vont réduire ces coûts alors que, pourtant, c'est ce qui arrive souvent. En effet, des estimations de bonne foi de coûts de mise en conformité dans le secteur privé peuvent avoir tendance à être trop élevés, parce que les analystes d'entreprises ne prévoient pas pleinement les mesures de réduction des coûts qu'ils découvriront une fois qu'ils consacrent effectivement leurs ressources pour la mise en conformité.

Une quantification impossible. Un autre type de limite systématique qui justifie la variante du principe d'inclusion maximale est le fait que certains types de conséquences sont difficiles voire impossibles à quantifier. Cela inclut les risques d'appauvrissement culturel, l'isolement social, et l'augmentation des tensions entre certaines couches sociales. Ces difficultés peuvent conduire à un biais dans une CBA dans laquelle une option avec des conséquences négatives pour la plupart quantifiables est comparée à une autre dont les inconvénients majeurs sont non quantifiables (Hansson, 1989). Pour ces raisons, Hansson (2007) affirme que le principe d'inclusion maximale et sa variante (ne prendre en compte que les conséquences qui sont quantifiables) doivent être remplacés par un critère qui exclut les évaluations créant un biais : « envisager les conséquences, et uniquement les conséquences qui peuvent être identifiées et évaluées de façon significative d'une manière raisonnablement uniforme pour toutes les options à l'étude ». Ce critère est une tentative de trouver un équilibre entre les deux principes précédents afin d'inclure autant d'aspects que possible et de traiter toutes les alternatives de la même manière. Il le fait en comprenant exactement les aspects qui peuvent être inclus sans traiter différemment deux options.

Enfin, en plus des débats quant à la recherche d'une plus grande exhaustivité possible dans la recherche des conséquences de la décision dont fait l'objet l'analyse coûts-bénéfices, celles-ci peuvent être le reflet - implicite ou explicite - des valeurs de l'analyste.

2.4.3 La CBA est-elle subjective, reflétant les valeurs de l'analyste ?

La CBA est idéologique

Alors que la CBA est perçue par ses adeptes et partisans comme un outil objectif dans la recherche du bien-être social (Mishan, 1982; Miller, 1989), d'aucuns pensent au contraire que les résultats d'une CBA reflètent implicitement les valeurs de l'analyste ; les critiques les plus virulents allant même jusqu'à voir dans la CBA l'expression dissimulée d'une idéologie sous couvert de science politique⁹ (Tribe, 1972).

La CBA est subjective

Pour Wildavsky (1966) par exemple, ceux dont les points de vue et valeurs sont différents de ceux de l'analyste perçoivent la CBA comme un rituel absurde, illogique et inconséquent, d'une manière analogue à la perception des pacifistes, des écologistes et des urbanistes quant aux analyses menées pour évaluer respectivement les dépenses du secteur de la Défense, les projets de barrages et de canaux ainsi que les projets d'autoroutes par exemple (Lave, 1996).

La subjectivité est présente dans l'identification des effets et la valorisation monétaire

Le point de vue et les valeurs de l'analyste orientent également de façon conséquente la CBA dans deux des principales étapes de l'analyse : l'identification des effets du projet à évaluer et leur valorisation monétaire. En effet, le choix du coût d'opportunité du projet évalué, c'est-à-dire la valeur attendue de « ce qui aurait pu être » si la mise en place du projet avait été faite différemment, est un exemple de l'orientation - quand bien même implicite - de l'analyste dans la CBA : l'identification et la valeur attribuée à cette option qui n'a pas été choisie sont celles qui prévalent dans l'esprit de celui qui a fait le choix. On en déduit que le coût d'opportunité doit

9. « *[I]deology has often sought to masquerade as analysis, deriving a power it could never justly claim from the garb of neutrality it has at times contrived to wear* »

être subjectif. Il est propre à l'esprit de celui qui fait le choix, on ne peut pas le rendre objectif, ou l'évaluer par quelqu'un d'autre que celui qui a choisi (Buchanan, 2008). L'affirmation de Buchanan peut toutefois être nuancée. Certes, l'identification du coût d'opportunité est subjective, mais l'évaluation et la valorisation monétaire pourraient probablement être réalisées sur une base objective. En particulier, cette manière d'attribuer une valeur monétaire à un effet est parfois très délicate et reste souvent la proie des détracteurs de la CBA, notamment pour le caractère subjectif du choix de la traduction monétaire adéquate de l'effet considéré. Pourtant, certains auteurs trouvent au contraire que l'usage de l'analyse coûts-bénéfices reste pertinent dans la mesure où les valeurs monétaires utilisées sont celles indiquées par les individus concernés par le projet eux-mêmes, et qu'elles sont donc à ce titre objectives et indépendantes de l'analyste (Trumbull, 1990). D'autres sont au contraire plus réservés en argumentant que les techniques utilisées pour identifier lesdites valeurs monétaires sont soumises à une interprétation dont les résultats sont très étendus. Lave (1996) affirme ainsi que le montant et même le signe des bénéfices et des coûts qu'utilise l'analyste dépendent du niveau et de la distribution des revenus. L'illustration utilisée concerne une évaluation *ex-ante* de la construction d'un barrage : « si les revenus de la société sont concentrés entre les mains de ceux qui valorisent les sports nautiques et la nage, l'utilisation de la mesure du consentement à payer favorisera la construction du barrage. Dans le cas contraire, si les revenus sont concentrés dans les mains de ceux qui valorisent la faune et la flore sauvages, une analyse coûts-bénéfices aura plus de chances de formuler des résultats négatifs quant à la construction du barrage ». Les risques sont importants, car si l'analyse coûts-bénéfices d'un même projet peut avoir des résultats si différents, voire opposés, d'aucuns pourraient sans doute se demander légitimement s'il n'est pas plus raisonnable d'opter pour un autre cadre d'analyse ou même de ne plus laisser de place à l'action collective ?

Le conséquentialisme

Un autre principe de base de l'analyse coûts-bénéfices est lié à l'utilisation de l'évaluation des conséquences. Les coûts et les bénéfices sont évalués, dans cette approche, en identifiant les conséquences de la décision. Globalement, cette évaluation inclut parmi les conséquences pertinentes non seulement des choses telles que le bonheur ou la satisfaction du désir, sur lesquelles les utilitaristes ont tendance à se concentrer, mais aussi si certaines actions ont été réalisées ou si

certaines droits ont été bafoués. Cette inclusion ne fait toutefois pas l'unanimité. Etant donné que la pensée conséquentialiste a été très étroitement liée à l'utilitarisme et à ses approches connexes, il existe une longue tradition qui prend une vision très étroite de ce qu'on peut compter comme conséquences (globalement en ligne avec ce sur quoi les utilitaristes souhaitent mettre l'accent). Par conséquent, de nombreux théoriciens politiques se sont montrés averses à un point de vue inclusif du conséquentialisme. Sen (2000b) se bat par exemple contre la décision de mener des actions en raison de leur « justesse », indépendamment de leurs conséquences. C'est un débat qui dure depuis longtemps et reste encore actif aujourd'hui. Ceux qui s'opposent à l'évaluation par les conséquences partagent en commun le rejet d'être guidé par les conséquences (selon ce point de vue, la « bonne » action peut être déterminée tout simplement par le sens du « devoir » de celui qui l'entreprend, indépendamment des conséquences).

L'inclusion des actions, des motifs et des droits humains

En plus de l'inclusion de la nature des actions et de l'accomplissement ou de la violation des droits fondamentaux dans un raisonnement conséquentialiste, il est pertinent de vouloir aussi tenir compte des motifs et raisons des actions, même s'ils sont sans doute plus importants dans le cas des décisions personnelles que dans celui des choix publics (Sen, 1970a). En effet, négliger ces considérations dans l'analyse coûts-bénéfices standard réduit la portée de l'analyse éthique sous-jacente aux décisions publiques. La littérature sur les droits humains fait ressortir à quel point elles sont pertinentes et liées aux questions que les individus jugent comme importants ; et cela même lorsque les gens n'ont pas la possibilité d'exprimer la valeur qu'ils attribuent à ces préoccupations dans les techniques de valorisation de l'analyse coûts-bénéfices (par exemple, en termes d'évaluations basées sur des prix de marché) (Sen, 2000b).

L'exclusion morale

Une critique commune à l'encontre du conséquentialisme est que cette discipline tient compte des conséquences positives d'actes immoraux de la même manière que les conséquences positives d'actes moralement acceptables. Dans l'utilitarisme hédoniste, le plaisir d'un assassin tire de son acte est inclus du côté positif du calcul hédoniste. De même, l'utilitarisme de préférence classera la satisfaction de ses préférences comme un facteur positif. Ceci est communément considéré

comme un aspect problématique dans la théorie utilitariste. Des exemples moins extrêmes sont toutefois utilisés de façon récurrente dans des analyses coûts-bénéfices. Dans les CBA de projets de construction de routes en Suède par exemple, le gain de temps des automobilistes est l'un des facteurs inclus dans l'analyse (Hansson, 2007). Cela s'applique non seulement à des gains de temps quand les vitesses restent dans les limites légales, mais aussi au temps que les automobilistes peuvent obtenir en dépassant les limites de vitesse. Etant donné que l'excès de vitesse est une infraction criminelle qui tue un grand nombre de personnes innocentes chaque année, l'inclusion des gains de temps réalisés grâce aux dépassements des vitesses autorisées est moralement controversée. En effet, il est difficile d'imaginer que les analystes incluent dans leur évaluation d'une nouvelle route l'utilité que retirent les automobilistes de la possibilité d'organiser des courses de rue illégales ; pourtant, la raison pour laquelle les gains de temps de l'excès de vitesse « ordinaire » sont inclus dans l'analyse est tout à fait évidente : même si l'excès de vitesse est un crime grave au regard des conséquences qu'il peut engendrer, il est socialement beaucoup plus accepté que d'autres crimes qui tuent des victimes innocentes.

Comme le montre cet exemple, il est loin d'être évident de savoir où tracer la ligne d'exclusion morale. Qui plus est, l'analyste doit en plus décider si ses décisions doivent être fondées sur l'exclusion morale, sur ses propres valeurs morales, sur celles de son client, sur un consensus moral de la société, ou encore sur une analyse morale indépendante. Ces éléments expliquent d'ailleurs également en partie pourquoi la mesure et, surtout, la valorisation monétaire des effets identifiés n'est pas immédiate et consensuelle.

2.5 Comment mesurer les effets ? La valorisation monétaire

En tant qu'outil d'aide à la décision collective, la CBA ne choisit pas d'utiliser des fonctions de bien-être social basées sur des mécanismes d'utilité ordinale, mais se démarque en choisissant plutôt une agrégation des utilités cardinales des individus (voir section 1.3), à travers l'utilisation de la valorisation monétaire. En effet, une fois les effets identifiés, l'analyse coûts-bénéfices a la particularité de rendre leur agrégation possible en attribuant une même unité monétaire à chacune de ces conséquences de la décision publique. Deux cas sont alors possibles :

1. Dans le premier cas, les conséquences de la décision peuvent être mesurées de façon quantitative et expriment une variation de biens ou de services marchands. L'attribution d'une valeur monétaire se fait alors simplement en utilisant les données du marché.
2. Dans le deuxième cas, les conséquences identifiées reflètent des variations de biens ou de services non-marchands, qui ne sont pas forcément quantifiées. Pour leur attribuer une valeur monétaire, il s'agit alors, d'une part de trouver une mesure quantitative et, d'autre part, d'attribuer une valeur monétaire à des biens ou des services non-marchands.

2.5.1 Le choix d'attribuer des valeurs monétaires aux effets

Existe-t-il une traduction en valeur monétaire quel que soit l'effet ?

Sur un plan éthique. Lorsque les effets d'une politique publique ou d'un projet à évaluer n'ont pas de valeur de marché, il est ardu de les traduire en unités monétaires. En plus d'être arbitraire, cette technique peut même être très discutable (Kelman, 1981; Van Wee et Roeser, 2013) sur un plan éthique : quelle valeur en effet attribuer à une alliance matrimoniale, à la peluche de sa fille, ou à l'intégrité physique et sexuelle de ses enfants (Lave, 1991) ? Il semble évident que l'élément dont fait l'objet la valorisation monétaire ne peut pas être aisément déconnecté de son symbole (Van Doren, 2013).

L'intérêt de la valorisation remis en question. Par ailleurs, quand bien même le travail de certains économistes permet de quantifier et d'attribuer une valeur monétaire à des biens et services découlant d'effets non-marchands, tels que les odeurs nauséabondes, l'irritation des yeux, la probabilité accrue d'être victime de cancer, l'amélioration de l'acuité visuelle, les effets d'image et de réputation, la préservation de (et la compensation pour les dommages aux) sites naturels, même ceux qui ne peuvent pas être visités (Hanemann, 1994; Bateman *et al.*, 2002; Kling *et al.*, 2012), comment garantir que les décideurs aient confiance en ces estimations ? En effet, la question primordiale n'est pas forcément relative au fait que l'estimation puisse être la meilleure possible, mais plutôt est-ce que les décideurs peuvent s'en servir avec confiance ?

L'incommensurabilité

La majeure partie de la discussion philosophique sur l'analyse coûts-bénéfices concerne les difficultés liées à l'attribution d'une valeur économique à ce que nous concevons comme une valeur inestimable, comme une vie humaine ou une espèce animale. Ainsi, il est plus ou moins dans la nature de l'analyse coûts-bénéfices d'être la cible de critiques quant à l'évaluation de l'inestimable (Hansson, 2007).

Les vies humaines n'ont pas de valeur monétaire dans le sens usuel du terme. Une analyse coûts-bénéfices qui attribue une valeur monétaire à la perte d'une vie humaine ne signifie pas pour autant que quelqu'un peut acheter une autre personne, ou qu'elle obtient le droit de la tuer, pour ce prix. De manière générale, la vie et l'argent sont deux entités incommensurables, et les valeurs de la vie incluses dans une CBA sont valables uniquement à des fins de calcul. Cependant, l'incommensurabilité entre la vie et l'argent est une seulement des nombreuses incommensurabilités qui doivent être traitées dans l'analyse coûts-bénéfices. La mort, la maladie ou encore la dégradation de l'environnement ne sont pas des événements qui peuvent être facilement mesurés. Il n'y a pas de réponse définitive à la question de savoir à combien de cas de diabète juvénile correspondent un décès, ou de savoir à quel montant de la souffrance humaine ou de décès correspond la disparition d'une espèce d'antilope (Lave, 1996).

Dans une CBA, les problèmes de décision multidimensionnels sont réduits à une seule dimension. Techniquement, cela consiste à attribuer une valeur monétaire à tous les types de conséquences, même ceux qui sont sans commune mesure avec l'argent. Par conséquent, le problème d'incommensurabilité apparaît comme un problème de répartition de sommes d'argent à des grandeurs de l'analyse qui n'ont pas de prix monétaire. Cependant, même si l'analyste ne cherche pas à attribuer de valeurs monétaires aux grandeurs à évaluer, il lui serait quand même nécessaire de faire face à des comparaisons entre des décès, des maladies ou des dommages environnementaux. Par conséquent, le problème essentiel ne se limite pas à l'évaluation en termes monétaires, mais il relève plutôt de la nécessité d'évaluer et de comparer des entités qu'il conçoit comme incomparables. Le point crucial est l'acte même de comparer, pas la monnaie dans laquelle les grandeurs sont exprimées. En effet, de telles comparaisons « impossibles » sont des éléments incontournables de la plupart des choix que doit opérer un décideur quant à une mesure qui

implique différents secteurs sociaux. Le problème ne vient donc pas de l'analyse coûts-bénéfices, mais de la nécessité même de prendre une décision multi-sectorielle ; la CBA étant uniquement un outil par lequel ce dilemme est plus clairement exposé.

Il s'avère que les réponses obtenues par la technique d'évaluation contingente¹⁰ ne donnent pas de bonnes indications de nos priorités. En effet, Beattie *et al.* (1998) ont constaté que de nombreux répondants ont tendance à déclarer un montant qui ne saurait pas perturber gravement leurs habitudes de dépenses et d'épargne usuels, généralement une somme de l'ordre de 50-200 euros par an. Les répondants étaient également insensibles à l'ampleur de la réduction des risques (Vadnjal et O'Connor, 1994; Hart et Latacz-Lohmann, 2001). Aucune autre méthode plus fiable ne semble être disponible pour déclencher des valeurs de calcul des répondants au questionnaire. Par ailleurs, certaines méthodes utilisées dans l'analyse coûts-bénéfices, y compris l'évaluation contingente, ont tendance à donner plus d'influence aux riches, car ceux-ci peuvent payer plus que les autres et peuvent ainsi orienter les choix (Copp, 1987). Toutefois, bien qu'il s'agit d'une caractéristique habituelle dans les CBA, il est méthodologiquement facile de l'éviter, par exemple, en mettant en relation les paiements (réels ou hypothétiques) d'un individu et les revenus de ces agents.

La transférabilité des valeurs monétaires

Dans les CBA, les estimations de coûts sont régulièrement transférées dans divers contextes, notamment les estimations des valeurs de la vie. Dans une CBA destinée à évaluer l'obligation réglementaire de l'usage de la mammographie effectuée en 1992, par exemple, la « *Food and Drug Administration* » aux États-Unis a utilisé les valeurs de la vie afin de déterminer, en termes monétaires, les bénéfices économiques d'une vie sauvée grâce à l'usage de la mammographie. Toutefois, les valeurs de la vie qui ont été utilisées ont été obtenues à partir des estimations de l'augmentation du salaire de travailleurs masculins dans des professions présentant un risque élevé d'accidents mortels (Heinzerling, 2000). Huit ans plus tard, la « *Environmental Protection Agency* » américaine a mené une CBA au sujet d'une nouvelle norme pour la concentration

10. L'évaluation contingente est une technique d'évaluation économique basée sur le traitement économétrique de données d'enquêtes, et destinée à révéler la valeur attribuée à certains biens ou ressources non-marchands, comme des monuments historiques, des ressources naturelles ou la qualité de l'air.

d'arsenic dans l'eau potable. Dans cette étude également, les valeurs de la vie qui ont été utilisées ont été extraites d'études qui ont identifié la compensation salariale que recevaient des mêmes travailleurs masculins pour vivre en situation de risque d'accidents mortels (Heinzerling, 2001). L'hypothèse de transférabilité des valeurs monétaires dans des contextes différents est en effet une condition essentielle sans laquelle les analyses coûts-bénéfices telles que menées aujourd'hui ne peuvent pas être justifiées. Si toutes les valeurs utilisées dans une CBA devaient être identifiées au sein du contexte précis et particulier de celle-ci, alors la pratique de l'analyse coûts-bénéfices serait très proche de celle de sondages d'opinion sur le sujet à analyser. En effet, dans le cas de l'arsenic, par exemple, cela reviendrait à informer les gens des risques liés à l'arsenic dans l'eau potable pour ensuite leur demander combien ils seraient prêts à payer pour de l'eau potable dépourvue de ce composant chimique.

Pour défendre l'utilisation du transfert de valeurs monétaires dans des contextes différents, deux arguments sont le plus souvent utilisés (Hansson, 2007) :

- d'une part pour des raisons pratiques, en particulier dans le but de réduire des coûts d'enquêtes ;
- et, d'autre part, pour des raisons de cohérence, l'idée étant que si différentes valeurs de la vie sont utilisées dans des CBA différentes, alors les décideurs, dont les choix s'appuient sur ces CBA, pourraient prendre des décisions incohérentes.

Cependant, en adoptant le dernier point de vue, la même valeur serait attribuée à une vie perdue dans un accident de travail et à une vie (hypothétique) perdue à cause de la présence d'arsenic dans de l'eau potable. Par ailleurs il convient également de noter que, pour motiver le transfert de valeurs quel que soit le contexte, il ne suffit pas de faire valoir dans l'indépendance de ces valeurs par rapport au contexte, mais des arguments sont aussi à fournir quant à la raison pour laquelle certaines valeurs en particulier, et pas d'autres, doivent être choisies pour être transférées dans des contextes différents.

2.5.2 Les techniques utilisées pour trouver une valeur monétaire

Comment faire pour attribuer une valeur monétaire à l'environnement, dont la valeur ne dépend pas d'un marché explicite ? Une technique consiste à associer à l'élément environnemental

concerné une valeur qui, elle, dépend d'un marché ; même si cette technique a ses propres limites. En effet, pour donner une valeur à l'existence de saumons dans une rivière en passe d'être condamnée par un barrage, examiner le prix d'un saumon dans un restaurant est-il pertinent (White, 1981) ? La préférence de certains pour l'existence du saumon tient à leur goût sportif pour la pêche à la ligne, pour d'autres, le seul fait d'admirer ces poissons au cours d'un safari sur eau mérite qu'ils restent en vie alors que d'autres encore consentiraient à payer pour éviter qu'on ne touche au saumon, de telle sorte qu'il puisse vivre tranquille et invisible. Autant de références individuelles qu'il est difficile de cerner dans une approche de valorisation monétaire. De nombreux économistes ont par conséquent essayé d'estimer les valeurs d'option¹¹ (Greenley *et al.*, 1981), les valeurs d'existence¹² (Madariaga et McConnell, 1987) et même d'imaginer quelles seraient les conséquences de l'attribution de droits à l'environnement, comme par exemple le fait de donner des droits aux arbres (Baumol et Oates, 1988).

Il n'existe pas de difficulté conceptuelle pour envisager des effets non-marchands dans l'analyse coûts-bénéfices ; en revanche, des moyens précis pour prendre en compte ces effets dans la pratique font défaut. Pour Lave, « même s'il s'agissait des meilleurs et des plus fins économistes, et même s'ils bénéficiaient de ressources illimitées, ils seraient incapables de garantir la certitude de leurs résultats après avoir conduit une analyse coûts-bénéfices d'un projet complexe » (Lave, 1996, p. 121).

Le choix des valeurs à utiliser

Les valeurs influencent nos actions, et au cours de l'évaluation des conséquences de certains projets publics, des hypothèses de valorisation sont faites dans la CBA standard. Mais il est également vrai que des projets d'envergure, en particulier ceux impliquant des défis culturels et aussi des mouvements de personnes d'un contexte culturel à un autre (par exemple, des zones rurales vers les zones urbaines), peuvent conduire à une modification de ces valeurs. Ce genre

11. La valeur d'option définie en économie de l'environnement est différente de son homonyme en finance. Dans le cas présent, un individu déclare lors d'une enquête attribuer de la valeur à une aménité car il se peut qu'il puisse (ou ses enfants) en profiter un jour : il s'agit d'un bénéfice *optionnel*.

12. La valeur d'existence peut être définie comme la valeur qu'un individu accorde à la seule existence d'une aménité, sans pour autant souhaiter en profiter. C'est le cas par exemple d'enquêtes liées au réchauffement climatique, dont des questions peuvent tenir à l'existence d'un ours polaire, que peu d'individus ont effectivement la possibilité de rencontrer.

d'événements ouvre la porte au problème sur la façon dont les modifications de ces valeurs doivent être évaluées et a retenu l'attention de certains analystes sociaux (Elster, 1989) qui se sont interrogés en particulier sur les valeurs - antérieures ou postérieures au changement - qui doivent être envisagées dans l'évaluation.

La valorisation prend l'hypothèse d'une situation spécifique

Une difficulté réside également dans le fait que les valorisations monétaires sont souvent obtenues - que ce soit à l'aide de méthodes directes ou indirectes¹³ - par rapport à une situation spécifique, mais celles-ci sont difficilement transposables, car elles peuvent varier d'une situation à l'autre. Le consentement à payer d'un individu pour réduire sa probabilité de mortalité immédiate risque fort d'être différent si le risque provient de la construction d'une usine de produits toxiques à proximité de sa maison - contre laquelle il était opposé, ou plutôt d'un séjour en montagne pour faire du ski - pour lequel il était volontaire (Lave, 1991). Les valeurs monétaires obtenues grâce aux techniques de consentements à payer ou à recevoir peuvent elles-mêmes être extrêmement différentes (Shogren *et al.*, 1994; Kling *et al.*, 2013) et, de surcroît, les réponses obtenues pour une même technique sont elles-mêmes très sensibles à la question posée, voire même au contexte duquel découle la question posée : Fischhoff (1991) montre par exemple que les valeurs monétaires proposées par des enquêtés, quand ils sont interrogés sur leur consentement à payer pour protéger un, cinq, cent ou mille lacs d'être victimes de pollution des sols, sont parfois les mêmes quel que soit le nombre d'étendues d'eau considérées.

L'addition comme technique d'agrégation

L'analyse coûts-bénéfices ne fonde pas seulement ses décisions sur les coûts et les avantages, mais se penche également sur la valeur des bénéfices nets après déduction des coûts des prestations.

13. Les méthodes directes et indirectes cherchent à attribuer une valeur monétaire à un bien ou service non-marchand. L'exemple phare de la méthode directe est la technique d'évaluation contingente par exemple, c'est-à-dire la mise en place d'enquêtes dont le but est de faire révéler les préférences et les consentements à payer pour préserver une aménité environnementale, par exemple. La méthode indirecte ne procède, quant à elle, pas par enquêtes mais plutôt en cherchant à évaluer des biens intermédiaires. Par exemple, pour chercher à évaluer la préférence d'un individu pour un environnement non-pollué, la méthode des coûts de déplacements consiste par exemple à cibler les individus qui ont déménagé d'une région urbaine polluée vers une région péri-urbaine qui l'est moins, et définir la valeur de l'air pur comme le montant des surcoûts éventuels liés à ce déménagement. Evidemment, les méthodes directes et indirectes ont chacune leurs limites, qu'il convient d'avoir à l'esprit avant de les utiliser.

Toutefois, alors que les bénéfices peuvent être de différente nature même s'il sont rangés ensemble - dans la mesure du possible - à travers une sélection de coefficients (ou de gammes de coefficients), les coûts peuvent être considérés comme des bénéfices auxquels on aurait renoncé (Sen, 2000b). Ainsi, les avantages et les coûts sont définis, en fin de compte, sur le même plan.

La forme additive est implicite dans cette opération. En effet, lorsque différents bénéfices sont additionnés, avec ou sans coefficients appropriés, le cadre théorique est clairement additif. Cette discussion peut paraître évidente, voire même futile, tant les analystes sont habitués à l'utilisation de la forme additive (comparée à toutes les autres formes possibles) pour ranger ensemble bénéfices et coûts. Cependant, des formes multiplicatives ont également été utilisées dans la littérature de l'évaluation (par exemple, par John Nash (1950c) dans ce qu'il appelait « le problème de négociation »)¹⁴.

Dans son sens le plus général, l'analyse coûts-bénéfices est une approche très universelle. Elle est compatible, par exemple, avec des coefficients fondés sur le consentement à payer ainsi que des façons très différentes d'évaluation (par exemple au moyen de questionnaires), qui peuvent compléter ou supplanter le cadre du consentement à payer (Little et Mirrlees, 1968; Sen, 2000a).

L'agrégation interpersonnelle

Dans une CBA, tous les coûts et tous les bénéfices sont réunis en une seule et même quantité. Cela signifie qu'un inconvénient affectant une personne peut être totalement compensé par un avantage de la même grandeur qui affecte une autre personne. En d'autres termes, la CBA fait l'hypothèse d'une « compensation interpersonnelle » des avantages et des inconvénients (Hansson,

14. Le « *bargaining problem* » est en essence un problème de choix d'équilibre. Il consiste à comprendre comment deux agents économiques doivent coopérer quand l'absence de coopération mène à des résultats non Pareto-optimaux. La solution que propose Nash (1950c) consiste à envisager les fonctions d'utilité u et v de deux joueurs 1 et 2 : ces joueurs vont alors chercher à maximiser la fonction

$$(u(x) - u(d)) * (v(y) - v(d))$$

où $u(d)$ et $v(d)$ sont les utilités en situation de *statu quo*, c'est-à-dire celles obtenues si un des joueurs décide de ne pas négocier avec l'autre. Le produit des deux utilités *en excès*, appelé *produit de Nash*, permet ainsi à chaque joueur d'avoir les bénéfices relatifs au *statu quo* (en situation de non-coopération) en plus d'une part égale des bénéfices qui résultent de la coopération (Muthoo, 1999).

2004)¹⁵. Cette hypothèse est d'ailleurs partagée par l'analyse coûts-bénéfices et l'utilitarisme. On peut l'exprimer comme un principe d'équilibre, comme de la façon suivante (Hansson, 2007) :

1. *Le principe d'équilibre collectif*. Une option est acceptable dans la mesure où la somme de tous les coûts individuels à qui elle donne lieu l'emporte sur la somme de tous les avantages particuliers à qui elle donne lieu. Toutefois, ce n'est pas la seule façon dont les coûts peuvent être comparés aux avantages.
2. *Le principe d'équilibre individuel*. Une autre possibilité est d'effectuer l'équilibre individuellement pour chaque personne concernée, et exiger un solde positif pour chaque personne. Une option est acceptable dans la mesure où les coûts affectant chaque individu sont contrebalancés par les avantages pour cette même personne.

Il est intéressant de se demander pourquoi des CBA sont menées sous le principe de l'équilibre collectif au moment de décider de projets routiers, d'ingénierie ou de sécurité, alors que, pour d'autres types de calculs, des décideurs s'appuient sur le principe de l'équilibre individuel au moment de décider sur des essais cliniques ou des conseils diététiques ?¹⁶

Ces différences ne trouvent pas leur origine dans l'argumentation normative fondée sur des principes, mais dans les traditions sociales divergentes dans différents champs de décision. Pour dire les choses crûment, dans certains domaines, il existe une tradition de sacrifice des intérêts individuels pour le bien collectif, alors que dans d'autres domaines les intérêts individuels sont beaucoup plus prégnants. C'est en effet un problème pour l'analyse coûts-bénéfices de devoir motiver la raison pour laquelle elle emploie l'agrégation (collective) totale des intérêts de chacun

15. La compensation interpersonnelle ne doit pas être confondue avec la question proche mais distincte de la comparabilité interpersonnelle. Dans le premier cas, le débat porte sur le fait que, même si un avantage est supérieur à un inconvénient, il n'annule pas forcément ce dernier. La comparabilité interpersonnelle n'implique pas la compensation interpersonnelle, mais ces deux notions sont néanmoins étroitement liées puisque la première condition est nécessaire pour rendre la deuxième opérationnelle.

16. Afin d'illustrer ce paradoxe, on peut prendre l'exemple d'un médecin qui sélectionne des patients pour un essai clinique avec un nouveau traitement expérimental. Un tel traitement comporte des risques et des bénéfices qui doivent être comparés l'un avec l'autre. Si le médecin s'appuie sur une CBA classique pour décider, alors il inclura un patient dans l'étude si le risque de ce patient est compensé par le bénéfice total de la société. Or celui-ci est aussi constitué des gains attendus grâce à l'étude pour les patients futurs. Par conséquent, avec un tel critère, un patient peut être choisi pour suivre ce traitement, même si les risques auxquels il peut être soumis dépassent de loin ses gains personnels attendus. De telles décisions ne sont bien sûr pas prises ainsi mais, plutôt, en respectant le principe d'équilibre individuel. Une médecin n'offre pas à un patient la possibilité de participer à un test clinique s'il n'est pas d'avis que les risques auxquels il sera exposé sont compensés par les avantages escomptés par son traitement expérimental (Hansson, 2007).

plutôt que des méthodes alternatives qui protègent les individus contre le sacrifice de leurs intérêts privés pour des buts collectifs.

Une évaluation non-itérative et non-paramétrique

Au cours des étapes de la valorisation monétaire, par exemple dans la construction des valeurs pour chaque effet, il se peut que celles-ci soient sujettes à un changement à mesure que les conséquences de coefficients de pondération ou d'autres valeurs deviennent complètement connues ou soient progressivement comprises. Par exemple, il se peut qu'on ne puisse pas complètement appréhender les conséquences d'un ensemble de valeurs par rapport à un autre, jusqu'à ce qu'on connaisse les résultats de l'utilisation de cet ensemble de valeurs en question. Il semble donc logique de suggérer des exercices de valorisation qu'ils soient itératifs, par exemple, à travers une procédure de programmation paramétrique Sen (2000b). En effet, plutôt que de prendre les coefficients indiqués comme des entités immuables, ils pourraient être proposés en tant que valeurs indicatives, qui restent ouverts à une révision à mesure que les résultats de leur utilisation deviennent claires. Puis, au lieu d'avoir une séquence unidirectionnelle de la valorisation, le processus peut aller de valeurs provisoires aux résultats d'application et, par la suite, l'analyste s'interrogera de nouveau si ces coefficients ont besoin de révision à la lumière du classement des différentes alternatives de décision publique.

Le recours au consentement à payer

Dans l'analyse coûts-bénéfices standard, le travail principal de la valorisation monétaire est réalisé au moyen du « consentement à payer »¹⁷. Cette approche est fondée sur la rationalité de la discipline de la valorisation de biens et de services marchands. En effet, l'utilisation de valeurs monétaires fondées sur une analogie de marchés a quelques-uns des avantages que le système d'allocation de marché possède lui-même, y compris la sensibilité aux préférences individuelles et la traçabilité des coefficients relatifs.

Cependant, les limites de base de cette approche sont également ceux dont l'approche marchande a fait l'expérience (Kahneman et Tversky, 1979). Cela inclut, par exemple, le fait de négliger les questions de redistribution, à la fois :

17. « *Willingness-to-pay* » (WTP) en anglais.

1. par l'attribution du même coefficient sur les euros de chaque agent économique (indépendamment du caractère pauvre ou riche de cet agent en question et de la valeur d'un euro pour lui),
2. et en n'attachant aucun coefficient aux modifications de la distribution de revenus qui peuvent résulter du projet ou programme public en question (puisque ces changements, même si leur évaluation est positive ou négative par les citoyens, ne sont pas sujets à une évaluation comme un bien privé dans le système marchand).

De surcroît, des difficultés additionnelles surgissent quand il est question d'externalités ou d'interdépendances (Sen, 2000b).

En plus des problèmes communs au système de marché actuel et à l'évaluation par analogie au marché, ce dernier a aussi des problèmes supplémentaires, en particulier dans le cas des biens publics, où les évaluations fondées sur l'analogie de marché ont souvent été invoquées. En effet, amener les gens à révéler ce pour quoi ils sont vraiment prêts à payer n'est pas si facile que ça, quand la question n'est pas suivie par une demande réelle d'effectuer ce paiement. Et même une fois celui-ci réalisé, il existe également des considérations stratégiques qui peuvent fausser le consentement à payer révélé, pour diverses raisons, la métaphore du « passager clandestin » étant sans doute la plus connue.

Les estimations du consentement à payer sont particulièrement difficiles dans le cas de l'évaluation contingente des valeurs d'existence des éléments précieux de l'environnement, qui est un exercice important et central dans l'analyse coûts-bénéfices, en particulier pour toutes les applications dont le projet public a un effet sur le comportement de l'agent économique dans son environnement. Dans la procédure de l'évaluation contingente¹⁸, des questions hypothétiques sont posées à de nombreux répondants sur le montant qu'ils seraient prêts à payer pour éviter la perte d'un élément environnemental particulier¹⁹. Dans le cadre juridique, quand il est question des dommages causés par les déversements de pétrole et d'autres actes de même envergure, l'approche par évaluation contingente a tendance à être utilisée à la fois comme :

18. « *Contingent valuation* » (CV) en anglais.

19. La question peut également être posée en demandant le montant que les répondants seraient prêts à recevoir comme compensation pour la perte d'un élément environnemental : on parle alors de « consentement à recevoir » (« *willingness-to-accept* » (WTA) en anglais).

1. une mesure de la perte réelle dont il a été question,
2. et une indication de l'étendue de la culpabilité de l'agent économique dont la négligence a conduit à l'événement qui s'est produit.

L'utilisation effective de la procédure d'évaluation contingente dans des expériences conçues a eu tendance à donner des résultats qui semblent aller dans le sens contraire de ce qui est considéré comme un choix rationnel (Kahneman et Knetsch, 1992). Un des problèmes, appelé « *embedding effect* » est illustré par le résultat suivant : le consentement moyen à payer pour éviter que 2 000 oiseaux migrateurs soient tués est sensiblement le même que le consentement à payer pour empêcher la destruction de 20 000 ou 200 000 oiseaux (Desvouges *et al.*, 1993). Cet ensemble de choix n'aurait pas été étonnant si ces oiseaux faisaient partie d'une espèce menacée, puisqu'on pourrait considérer d'une part que la mort de chaque oiseau en elle-même réduit les chances de la propagation de l'espèce et d'autre part que la valeur révélée par le consentement à payer reflète sans doute la volonté de conserver l'opportunité à l'espèce de se propager. Toutefois, l'étude de Desvouges *et al.* (1993) ne traitait pas d'espèces menacées d'extinction. En fait, il est difficile de juger entre les choix qui sont cohérents et ceux qui sont irrationnels, sans aller plus en détail pour chercher à savoir comment ceux qui font ces choix (dans le cas de l'exemple : les répondants) perçoivent le problème et ce qu'il pensent réussir à accomplir par leurs choix (Sen, 1995). C'est notamment l'objet de l'économie comportementale et de la neuroéconomie (voir sections 1.5.2 et 1.5.3).

Cette réflexion ouvre la porte :

- D'une part, sur le fait que les choix d'agents économiques ne sont certes pas toujours rationnels dans la valorisation monétaire comme l'atteste par exemple les travaux de Kahneman et Knetsch (1992) et de Desvouges *et al.* (1993), mais aussi dans la recherche même des conséquences de la décision publique initiale.
- D'autre part, l'étape de l'analyse coûts-bénéfices qui consiste à identifier *ex-ante* les effets de la politique publique requiert également une compréhension de la rationalité des acteurs économiques en jeu.

Or le comportement de ces-derniers ne relève pas forcément d'une rationalité d'un *homo economicus* mais plutôt d'une rationalité procédurale ou limitée (Simon, 1955). Il est donc important

de savoir du mieux possible comment vont réagir les agents économiques, et c'est cette démarche que l'outil d'aide à la décision CoBAYe souhaite mettre en avant (voir section 1.5.1).

Quels liens entre les tests de compensation et le consentement à payer ?

Il est possible d'interpréter les agrégations de consentement à payer en termes de possibilités potentielles de redistribution, en incluant la compensation de n'importe quelle perte qu'un groupe de personnes peut subir. Sous certaines hypothèses, de telles interprétations de critères de compensation sont en effet plausibles. Toutefois, la question importante est la pertinence et la force de persuasion d'un raisonnement éthique fondé non pas sur des résultats réels, mais sur des possibilités de compensation potentielle qui peuvent ou peuvent ne pas être effectivement réalisées.

Il existe une vraie tension dans l'utilisation de la logique de compensation dans les questions de bien-être social (voir section 2.2.1). D'un côté, si les compensations sont effectivement payées, alors il n'y a bien évidemment pas lieu d'avoir besoin du critère de compensation, puisque le résultat réel inclut déjà les compensations payées et peut être jugé sans faire référence à des tests de compensation (dans le cas du critère de Kaldor-Hicks, par exemple, et après le paiement des compensations, le résultat est le cas d'une simple amélioration au sens de Pareto). D'un autre côté, si les compensations ne sont pas payées, il n'est pas du tout évident de se prononcer pour savoir s'il s'agit d'une amélioration sociale (une compensation hypothétique à un « perdant » a peu de chances de satisfaire son consentement à recevoir). Ces deux cas montrent ainsi que les tests de compensation sont soit redondants soit non-convaincants (Sen, 1970b).

L'aide que l'analyse coûts-bénéfices a recherché dans les tests de compensation n'a peut-être pas été particulièrement bien réfléchi, mais ce n'est pas pour autant que l'approche par le consentement à payer est inutile. Peu importe quelles sont les exigences des critères de l'efficacité (Pareto, Kaldor-Hicks ou un autre), il est nécessaire de pouvoir bénéficier d'un outil qui est sensible aux préférences individuelles et, en cela, le consentement à payer a un rôle à jouer. En effet, si dans un cas sans externalité, une personne est prête à payer beaucoup moins pour une option *A* que pour une option *B*, alors donner à cette personne l'option *B* plutôt que l'option *A*, alors qu'elle aurait pu avoir n'importe laquelle des deux options, sera ressenti comme une

perte (Kahneman et Frederick, 2002). De telles conclusions peuvent être mises en évidence sans qu'il soit question de choix redistributifs (vu que le critère de Pareto est adéquat dans ce cas), et de tels sous-choix peuvent être eux-mêmes compris à l'intérieur de choix plus importants (Sen, 2000b) (ceux-ci pouvant même parfois inclure des questions distributives également). Par conséquent, l'information obtenue par l'approche du consentement à payer est d'une certaine pertinence dans un registre d'efficacité également, indépendamment de quelles conclusions il est possible d'en tirer en ce qui concerne des questions d'équité.

2.5.3 La valeur du taux d'actualisation

La difficulté de réduire l'ensemble des coûts et des bénéfices à un seul scalaire a pour parallèle la difficulté de réduire la chaîne des effets dans le temps à un horizon temporel unique. Un large pan de la littérature a été dévolu aux moyens de trouver le taux d'actualisation le plus adéquat pour les biens de marché qui ont lieu au cours du temps (Baumol, 1968; Stiglitz, 1983). Toutefois, même s'il existe un accord général sur le concept en lui-même (au moins pour un horizon temporel plutôt que sur la durée d'une génération), il n'y a pas de consensus sur la valeur qui doit être donnée au taux d'actualisation dans une analyse coûts-bénéfices. L'actualisation de biens et de services pour lesquels il n'existe pas de marché peut requérir un taux d'actualisation entièrement différent de celui qui est nécessaire pour des biens et services marchands par exemple. Quel taux d'actualisation utiliser pour des risques futurs tels que la maladie, la mort ou la destruction d'aménités environnementales ?

Nous ne cherchons pas à développer davantage dans cette section les débats sur la question du choix du taux d'actualisation adéquat dans l'évaluation des effets d'une politique publique si ce n'est la caractéristique, évidente, suivante : un taux d'actualisation fort caractérisant un fort taux de préférence pour le présent alors qu'un taux faible d'actualisation étant préférable pour des projets dont les bénéfices sont obtenus à long terme, comme dans le cas des programmes de réduction du réchauffement climatique par exemple. Le lecteur souhaitant approfondir ces questions peut se référer aux articles de Sen (1982), Lind (1982), Kula et Evans (2011) ou Burgess et Zerbe Jr. (2011) par exemple.

2.6 Comment tenir compte de l'incertitude ?

2.6.1 En situation d'incertitude probabiliste, ou de risque

L'incertitude due aux données

Dans la pratique de l'analyse coûts-bénéfices, l'estimation des paramètres peut aussi être rendue difficile parce que les données disponibles peuvent évoluer à une vitesse différente de celle des événements pour lesquels ces données sont utiles : on peut penser aux cas de l'évolution démographique d'un territoire, des grandes enquêtes de mobilité réalisées au moins chaque décennie en France (Enquête Nationale Transport, Enquête Globale Transport) ou encore des données de consentement à payer pour l'obtention ou la conservation d'un service public, pour ne citer que ces exemples. À moins de vivre une ère où les données peuvent être obtenues en temps réel, un retard subsistera toujours entre la production de données et celles des analyses²⁰.

L'incertitude probabiliste

L'analyse coûts-bénéfices essaie de prendre en considération deux types d'incertitude probabiliste : un éventail d'incertitude à propos de l'étendue des effets, et un éventail d'incertitude au sujet de la valorisation monétaire de ces effets²¹. Cela implique notamment qu'un même économiste est en mesure de conduire deux CBA différentes sur le même sujet, et aboutir à deux résultats différents, en fonction - par exemple - du client de l'étude. Cette critique de l'utilisation pratique de l'outil est vraie pour au moins deux raisons : l'incertitude en aval est inhérente à la volonté de donner une valeur monétaire à chaque effet afin de réduire toutes les grandeurs à un unique scalaire. À moins de trouver une façon cohérente et objective d'agrèger les préférences individuelles, présentes et futures, de la population concernée et à considérer dans l'évaluation, cette incertitude subsistera tant que la CBA cherchera à rendre une valeur monétaire comme résultat. Il est en revanche possible d'agir sur l'incertitude en amont. Certes, il est ardu de prévoir l'ampleur des dégâts d'une inondation dans le cas d'une analyse *ex-ante* par exemple, et de surcroît il est sans doute aussi difficile, voire impossible de prévoir certains événements

20. L'essor et l'accessibilité grandissante du numérique, associés à la libéralisation de données publiques, avec l'*open data*, peuvent néanmoins envisager une plus importante rapidité dans l'obtention et le traitement des données dans les années à venir.

21. Nous appellerons par la suite ces deux éventails d'incertitude : incertitude en amont et incertitude en aval respectivement.

comme une catastrophe naturelle sans précédent, et dépassant les calculs de probabilités et les coefficients de sécurité régissant la construction et la protection d'édifices infrastructuraux (un pont, un barrage, une centrale nucléaire à Fukushima...). Dans la pratique de la CBA, ces deux types d'incertitude en amont (une incertitude probabiliste et une incertitude radicale) sont inéluctables. En revanche, il est possible de rendre l'évaluation plus objective et moins sujette à des interprétations contrastées en fonction du client. En effet, une identification la plus exhaustive possible des effets de l'action publique - et même des « petites » externalités - peut permettre de rendre la CBA plus objective. C'est une des raisons pour lesquelles il nous semble nécessaire de proposer un nouvel outil, plus transparent, pour améliorer la CBA traditionnelle.

2.6.2 En situation d'incertitude radicale

Pour de nombreux projets, il n'est pas aisé d'énumérer toutes les conséquences d'une décision, ce qui implique que nombreuses de ces conséquences ne sont pas prises en compte, comme en atteste par exemple l'évaluation de la sécurité des centrales nucléaires états-uniennes, dont les calculs se sont avérés trop complexes (en temps) pour les ordinateurs de l'époque (Rasmussen, 1981) ; une solution pourrait par exemple consister à se placer sous des hypothèses de rationalité procédurale (Simon, 1955) et non pas d'efficacité ou d'optimisation pour ainsi arrêter l'évaluation au bout d'un horizon temporel au-delà duquel l'évaluation n'est plus pertinente (Le Goff et Proag, 2014a).

La capacité de prédiction

Afin d'évaluer les variantes d'une mesure publique, il est nécessaire de déterminer, pour chacune de ces options, les développements futurs qui vont suivre si une alternative est choisie. Cependant, et il en est de même pour la prévision des avancées technologiques, les prévisions des conséquences futures sont très incertaines. En prolongeant le parallèle avec les innovations technologiques, une des principales raisons pour expliquer les nombreux échecs de leur prévision est que le développement de la technologie dépend de facteurs sociaux, tels que les décisions prises par des individus ou des groupes sociaux quant à l'opportunité et la manière d'utiliser des options technologiques. En effet, de nouvelles habitudes sociales et leurs interactions avec la technologie sont bien souvent des surprises.

Notre incapacité à prédire ce que pourront être les conséquences des différentes options dans l'avenir affecte évidemment non seulement la CBA, mais également d'autres méthodes d'aide à la décision. Elle limite notre capacité à planifier rationnellement l'avenir, que ce soit par l'utilisation d'une analyse coûts-bénéfices ou toute autre méthode. Cependant, ce problème est particulièrement visible pour des méthodes comme la CBA qui sont conformes à des principes conséquentialistes. En effet, le conséquentialisme²² se réfère à toutes les conséquences d'une action, y compris les conséquences qui se produisent dans un futur lointain ou qui dépendent de mécanismes de causalité très complexes. Par conséquent, il est un problème pour le conséquentialisme que nous ne pouvons pas connaître les conséquences les plus distantes de nos actions (Singer, 1982; Lenman, 2000).

Les CBA essayent en général de couvrir les conséquences de la politique à évaluer aussi complètement que possible. Cependant, à mesure que l'analyse prend en compte des conséquences de plus en plus éloignées, l'incertitude tend à augmenter (Hofstetter *et al.*, 2002). L'analyse doit alors s'arrêter à un moment avant de se retrouver dénuée de sens. Or malheureusement, malgré les efforts de nombreux théoriciens, les analystes font face à un « *stopping problem* », c'est-à-dire qu'aucune méthode générale pour décider quand s'arrêter n'est pour l'instant disponible dans la littérature sur l'analyse coûts-bénéfices (Keeney et von Winterfeldt, 1986; Rascoff et Revesz, 2002).

Que faire lorsqu'on ne peut pas contrôler les décisions futures ?

La caractérisation des conséquences futures d'une action, qui est un élément nécessaire d'une CBA, est compliquée non seulement par des problèmes de prédiction, mais aussi par l'indétermination de notre contrôle sur des décisions futures. L'aide à la décision met généralement l'accent sur les décisions « *one-shot* », c'est à dire des situations dans lesquelles un décideur a exactement une décision à prendre dans une affaire. Dans la pratique toutefois, le décideur est souvent dans

22. Le conséquentialisme est la classe des théories éthiques normatives estimant que les conséquences du comportement d'un agent sont le fondement ultime de tout jugement sur la droiture ou l'inconvenance de cette conduite. Ainsi, d'un point de vue conséquentialiste, un acte moralement juste (ou une omission d'agir) est celui qui va produire un bon résultat ou une bonne conséquence (Scheffler, 1988). Dans sa forme extrême, l'idée du conséquentialisme peut être symbolisée par le dicton anglais, « *la fin justifie les moyens* » (Mizzoni, 2010, p.104), qui signifie que si un but est moralement suffisamment important, alors une façon d'y parvenir est acceptable. Ce point a aussi été discuté dans la section 2.4 au sujet des effets à envisager dans une CBA.

une situation dans laquelle il doit avoir une visibilité sur une série de choix et de questions futurs qui influencent la décision initiale. Comment traiter ces décisions futures dans une CBA destinée à guider la décision qui vient en premier lieu ?

En théorie de la décision, le traitement des décisions futures a surtout été discuté dans le cadre de décisions individuelles (Rabinowicz, 2002). La question cruciale est de savoir s'il faut traiter de décisions futures en faisant l'hypothèse qu'elles seront sous le contrôle du décideur. L'alternative évidente à cette question est de faire une évaluation probabiliste de la façon avec laquelle un acteur économique agirait quand il serait en présence de cette situation de décision future, en faisant l'hypothèse que cela revient à tenir compte d'une décision future qui serait prise par une tierce personne. Cependant, aucune règle générale, qui puisse être utilisée quelle que soit la situation, ne semble être disponible pour déterminer si un décideur doit agir comme s'il était en contrôle de ses propres décisions futures.

2.7 Conclusion

Issue de travaux d'ingénieurs, la CBA est née comme un outil opérationnel destiné à l'origine à évaluer les effets de la mise en place d'une taxe de passage sur un pont (Dupuit, 1844). Aux Etats-Unis, l'outil est longtemps resté aux mains des ingénieurs et praticiens jusqu'au décret du Président américain Reagan en 1981 qui rendait obligatoire l'utilisation de l'analyse coûts-bénéfices à des fins d'évaluation de projet dans les agences fédérales. L'outil était devenu plus visible et influent dans la sphère publique et les chercheurs ont alors commencé à identifier ses fondements théoriques et à discuter de leur pertinence en fonction des situations. À cause de l'inertie traditionnelle toutefois, les discussions des scientifiques et les applications des opérationnels ne sont pas toujours convergentes : rien ne garantit en effet que les techniques utilisées avant l'intérêt suscité par les chercheurs n'aient subi de modifications à cause de leurs travaux. En particulier, les recherches scientifiques font plutôt état de débats et de questionnements entre différents partisans, notamment sur des éléments basiques de l'analyse tels que les individus dont les actions et effets doivent être envisagés, ou la portée de ces effets eux-mêmes. Ces débats sont eux, en revanche, influencés par les techniques opérationnelles de calcul, notamment au sujet de la valorisation monétaire de biens et de services non-marchands.

Il est quand même possible de déceler des points communs dans les analyses coûts-bénéfices, notamment sur le plan théorique. En effet, l'analyse que fait Lave (1996) du décret américain de 1981 et la mise en parallèle avec ce qui est prôné dans les manuels d'utilisation de l'analyse coûts-bénéfices permet de déceler quelques-unes des caractéristiques génériques de la CBA, propres d'une part à l'outil en tant que cadre comptable (les six premiers points) et d'autre part à l'outil pour l'amélioration du bien-être de la société (les sept suivants) :

1. L'analyse coûts-bénéfices encourage une déclaration systématique des buts à accomplir.
2. Elle encourage les analystes à identifier et évaluer un éventail large d'options afin d'atteindre les buts fixés.
3. Elle est une approche systématique et analytique qui essaie d'explorer les implications propres à chacune de ces options.
4. Elle nécessite que l'analyste compare les compromis entre ces implications à la fois à l'échelle de l'individu mais aussi à une échelle agrégée en termes de dépenses totales.
5. Elle encourage la recherche d'externalités et leur évaluation.
6. Elle se concentre sur l'allocation des bénéfices et des coûts au cours du temps et les traduit dans une unique fenêtre temporelle.
7. Elle tente d'accomplir les buts fixés au moindre coût.
8. Elle peut être utilisée pour identifier les données et analyses pertinentes pour l'intervention.
9. Elle spécifie un calendrier de recherche et de développement pour fournir des données qui ne sont actuellement pas disponibles.
10. Elle cherche à isoler et à quantifier l'intérêt social, et non pas l'intérêt individuel.
11. Elle reconnaît qu'il y a des effets désirables mais aussi des effets indésirables dans chaque situation, qualifiés respectivement de « bénéfices » et de « coûts ».
12. Elle encourage une analyse objective et indépendante de toute valeur morale ou subjective.
13. Finalement, elle identifie finalement l'option qui a le bénéfice social net le plus important, défini comme celui qui est le meilleur pour la société.

Ces éléments peuvent sans doute toujours faire l'objet de discussions, par exemple au sujet de la « subjectivité » de l'évaluation ou sur les méthodes « d'allocation des bénéfices et des coûts

au cours du temps » pour les « traduire dans une unique fenêtre temporelle ». Cependant, ils font remarquer que, conceptuellement, l'analyse coûts-bénéfices n'est pas source de restrictions dans le choix d'identification des conséquences d'un projet - public ou privé - à évaluer ou sur la durée d'évaluation. Dans la pratique, en revanche, des restrictions existent, notamment à cause de difficultés techniques. Le Chapitre 3 présente ainsi des résultats d'une comparaison d'analyses coûts-bénéfices des vingt dernières années sur des politiques de mobilité ou d'amélioration de la qualité de l'air destinées à mettre en évidence certaines limites inhérentes à leur pratique. Une fois celles-ci identifiées, nous présenterons, d'une part, dans la Partie II les éléments théoriques qui construisent un nouvel outil d'aide à la décision qui permettent de les dépasser et, d'autre part, des applications de ce nouvel outil CoBAYe sur des politiques de même envergure dans la Partie III.

Chapitre 3

Les limites de la CBA dans la pratique : interdépendances, propagation des effets et incertitude

3.1 Introduction

L'examen des fondements théoriques de l'analyse coûts-bénéfices et des débats que ses principes fondateurs ou son utilisation ont pu susciter au cours des années nous ont amené à présenter les faits les plus saillants qui ressortent de la littérature théorique sur la CBA (voir Chapitre 2). En particulier, les fondements théoriques de l'analyse coûts-bénéfices ne semblent pas indiquer de limitation à la prise en considération d'effets et semblent même pencher vers une volonté d'exhaustivité (voir section 2.4). De plus, une fois ces effets identifiés, conséquences de la politique publique à évaluer, leur durée d'évaluation ne fait à nouveau pas l'objet de restriction. Nous avons donc cherché à examiner plus en détail comment se manifestent ces deux éléments de l'évaluation dans la pratique. En effet, deux cas sont possibles :

- d'une part, la possibilité que les praticiens de la CBA fondent leur analyse sur les concepts théoriques et les résultats des débats des chercheurs pour mener leur évaluation ;
- d'autre part, la possibilité que les praticiens de la CBA n'aient pas attendu les recommandations de la littérature théorique sur la discipline pour mener leurs évaluations. Ce deuxième point corrobore d'ailleurs l'histoire de la pratique de la CBA, que ce soit en

France ou à l'étranger (voir section 2.1) : les ingénieurs chargés d'évaluer des projets publics, à commencer par Dupuit (1844) lui-même, ont adopté des techniques d'ingénieur pour réaliser leurs évaluations, avant que la recherche théorique, attirée par l'augmentation croissante de cette discipline - bien aidée, il est vrai, par les recommandations et lois des gouvernements nationaux - ne cherche des fondements théoriques pour orienter les futures applications.

Évidemment, ces deux possibilités ne sont pas complètement disjointes, et il est très probable que, à mesure que le temps s'écoule, les praticiens s'inspirent de recherches théoriques pour conduire leur évaluation et que ces recherches théoriques elles-mêmes progressent avec l'avancée des applications. Les deux domaines - recherche et théorie - sont en effet sans doute imbriqués, comme en témoignent les recommandations de certains Ministères à des groupes de recherche pour établir des directives sur la meilleure façon de conduire des analyses coûts-bénéfices (Eijgenraam *et al.*, 2000).

Cependant, quelle que soit la démarche choisie par l'analyste praticien, qu'il décide ou non de s'appuyer sur des recherches théoriques pour mener son évaluation, il est possible qu'il soit amené à faire des choix dans la pratique, en fonction de contraintes matérielles, ou de manque d'informations par exemple. Cette pratique est-elle courante ou rare ? À quel point les analyses coûts-bénéfices menées par les praticiens diffèrent-elles de la théorie ? Et le cas échéant, est-il possible de trouver des éléments invariants à ces différences ?

Ce chapitre s'intéresse par conséquent essentiellement à la comparaison et à l'examen des différences entre les analyses coûts-bénéfices effectives, menées par des praticiens, et celles préconisées par la littérature théorique, qui a été abondamment proluxe, et dont quelques éléments ont été présentés au Chapitre 2. Toutefois, les analyses coûts-bénéfices de projets publics sont eux-mêmes légion, et nous avons dû procéder aux choix suivants pour l'exercice de cet examen :

1. Les analyses coûts-bénéfices prises en considération concernent les champs de l'environnement et de la mobilité sur les vingt dernières années. Ce choix s'explique par deux raisons : la première tient au caractère appliqué de cette recherche, conséquence logique des éléments mentionnés dans l'introduction générale. Les politiques publiques pour lesquelles nous avons

manifesté un intérêt dès le début de cette recherche concernant ces deux champs, et les applications de l'outil d'aide à la décision CoBAYe, dont nous proposons une description dans la Partie III, traitent de problématiques liées à l'environnement et à la mobilité (voir chapitres 8, 9 et 10). La deuxième raison est propre à l'outil d'aide à la décision développé dans ce travail : plus les politiques publiques à évaluer sont transversales, et plus CoBAYe est efficace, c'est-à-dire que les effets inter-régionaux, inter-temporels et inter-sectoriels peuvent réellement être mis en évidence dans CoBAYe, au contraire d'autres méthodes d'évaluation, comme l'analyse coûts-bénéfices par exemple. Lorsqu'elle est bien menée, cette-dernière est efficace bien sûr, mais pas dans des contextes interdépendants ou, du moins, elle nous semble moins efficace que l'outil CoBAYe. Or, des politiques publiques agissant sur l'environnement de la mobilité des acteurs du territoire sont en général entièrement imbriquées dans des situations d'interdépendances sectorielles, et c'est pourquoi il nous a semblé intéressant de les retenir. Enfin, le choix des vingt dernières années s'explique tout simplement par le souhait d'avoir un nombre suffisant d'articles à analyser.

2. Le deuxième choix concerne les critères retenus pour analyser les différences entre la théorie et la pratique. Plusieurs auraient pu être mobilisés, comme la présence ou non d'un scénario de référence, le choix du taux d'actualisation adéquat ou encore les diverses techniques de valorisation monétaire utilisées. Toutefois, les trois éléments sur lesquels il nous a paru nécessaire de se concentrer sont les suivants :
 - (a) L'existence ou non d'une différence entre l'objectif affiché de la politique à évaluer et les secteurs étudiés par l'analyste. Ces-derniers se limitent-ils aux objectifs de la politique ou sont-ils plus vastes ?
 - (b) L'approche retenue par l'analyste est-elle statique ou dynamique, autrement dit, l'analyste cherche-t-il à prendre en considération les seules conséquences de la politique qui se déroulent uniquement dans la configuration actuelle de l'économie du territoire voire, le cas échéant, uniquement en fonction des interdépendances existantes au moment de l'analyse ? Ou bien essaie-t-il, en outre, de tenir compte d'effets qui peuvent être engendrés par la nouvelle configuration qu'amène la mise en œuvre de la politique publique par exemple ? Et dans ce dernier cas, quels sont les effets envisagés ?

- (c) Enfin, la durée de l'évaluation des effets de la politique publique est-elle déterminée à l'avance par l'analyste, ou bien ce choix relève-t-il des conditions dans lesquelles ces effets sont identifiés, voire de leur nature même ?

Les résultats de cet examen sur les articles identifiés sont présentés dans la section 3.2. La section 3.3 présente comment les CBA les plus influentes identifiées à l'aide de cet examen (voir le Tableau 3.1) prennent en compte à la fois les interdépendances des effets engendrés par la politique évaluée et l'incertitude dans trois régions du monde différentes (Pays-Bas, Royaume-Uni, Californie). Enfin, les sections 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 et 3.4.4 analysent quatre CBA particulières dont l'objet est une politique de mobilité et d'amélioration de la qualité de l'air très similaire à celles qui sont envisagées à Paris, comme la *Zone à Circulation Restreinte* par exemple (voir le Chapitre 10). L'étude de ces CBA est présentée sous forme d'une synthèse des résultats et des hypothèses prises, accompagnée de commentaires relatifs à une comparaison avec ce qui envisagé dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe (Partie II).

3.2 Revue des CBA appliquées à l'environnement et la mobilité

3.2.1 Représentation des résultats

Le Tableau 3.1 présente les résultats de l'examen d'un peu plus de cinquante analyses coûts-bénéfices dont l'objectif était d'évaluer des politiques publiques agissant sur l'environnement et la mobilité et rédigées au cours des vingt dernières années. Les trois critères retenus et explicités dans la section 3.1 précédente sont représentés dans les trois colonnes de droite ; la colonne de gauche présentant les articles de recherche ou rapports dans lesquels ont été rédigés ces analyses coûts-bénéfices. Le détail de la représentation graphique est le suivant :

1. La deuxième colonne représente les différences remarquées entre l'objectif affiché de la politique publique à évaluer et les secteurs correspondant aux effets effectivement envisagés par l'analyste. La couleur grise désigne l'existence d'une différence et l'absence de couleur (représentée par du blanc ici) indique qu'il n'y a pas de différence, c'est-à-dire que l'analyste n'a cherché à évaluer que des effets qui ont trait au secteur dans lequel s'inscrivait l'objectif de la politique en question.

Tableau 3.1 – Grille d’analyse de quelques-unes des CBA de politiques publiques dont les objectifs relèvent des secteurs de l’environnement et de la mobilité au cours des vingt dernières années

Articles	Objectif / secteurs étudiés	Statique / Dynamique	Durée de l’évaluation endogène / exogène
(Bruinsma et Rietveld, 1993)			
(Hauer, 1994)			
(Verhoef, 1994)			
(Brathen et Hervik, 1997)			
(Morgenstern, 1998)			
(Mackie et Preston, 1998)			
(Weitzman, 1998)			
(Willis, 1998)			
(Banister et Berechman, 2000)			
(Eijgenraam <i>et al.</i> , 2000)			
(Bristow et Nellthorp, 2000)			
(Hayashi et Morisugi, 2000)			
(Lee, 2000)			
(Morisugi, 2000)			
(Quinet, 2000)			
(Rothengatter, 2000)			
(Vickerman, 2000)			
(Banister et Berechman, 2001)			
(Forkenbrock, 2001)			
(Grant-Muller <i>et al.</i> , 2001)			
(AEA Technology Environment, 2003)			
(Wardman, 2004)			
(Prud’homme et Bocarejo, 2005)			
(Flyvbjerg, 2005)			
(Flyvbjerg <i>et al.</i> , 2005)			
(Givoni, 2006)			
(Hensher, 2006)			
(Hollander, 2006)			
(Reilly, 2007)			
(Annema <i>et al.</i> , 2007)			
(Fosgerau, 2007)			
(Vickerman, 2007)			
(Van Wee, 2007)			
(de Rus, 2008)			
(Iacono et Levinson, 2008)			
(Rietveld et Van Wee, 2008)			
(Damart et Roy, 2009)			
(Eliasson, 2009)			
(Salling et Banister, 2009)			
(Peer <i>et al.</i> , 2010)			
(Radopoulou, 2010)			
(Rotaris <i>et al.</i> , 2010)			
(Desaigues <i>et al.</i> , 2011)			
(Holz-Rau et Scheiner, 2011)			
(Mandell, 2011)			
(Setton et Marshall, 2011)			
(Sevcikova <i>et al.</i> , 2011)			
(Shi et Zhou, 2012)			
(Börjesson <i>et al.</i> , 2012b)			
(Hyard, 2012)			
(Leung, 2013)			
(Annema et Mouter, 2013)			

2. La troisième colonne indique si l'approche d'évaluation est statique ou dynamique, c'est-à-dire, comme expliqué dans la section 3.1 précédente, si les effets identifiés par l'analyste se limitent aux conditions économiques du territoire présentes au moment de la mise en place de la politique (c'est ce que nous appelons *l'approche statique*) ou bien si une vision plus prospective, tenant par exemple compte des effets que le changement de configuration économique créé par la mise en œuvre de la politique peut engendrer, est également envisagée (sous l'appellation *approche dynamique*). À nouveau, c'est une distinction par couleur qui a été retenue pour la présentation : la couleur blanche signifiant que l'analyse est statique et la couleur grise symbolisant une approche plus dynamique.
3. Enfin la quatrième et dernière colonne rend compte des caractéristiques de la durée d'évaluation que l'analyste a choisies. Lorsque cette durée est exogène, c'est-à-dire qu'elle est définie par avance par l'analyste, ou en fonction de critères techniques propres à la politique ou aux objets dont elle se sert, par exemple lorsqu'il est question de la durée de vie d'un ouvrage infrastructurel qui détermine la durée de l'évaluation, alors la couleur choisie est blanche. Dans le cas où, au contraire, la durée de l'évaluation est endogène, c'est-à-dire qu'elle est définie en fonction des contingences relatives à la mise en place de la politique, de la rationalité ou des réactions des acteurs qui en sont concernés par exemple, alors la couleur est grise.

3.2.2 Analyse des résultats : des analyses sectorielles, statiques et à durée d'évaluation exogène

L'examen de certaines des analyses coûts-bénéfices de politiques publiques dont les objectifs relèvent des champs de l'environnement et de la mobilité a permis d'aboutir aux résultats suivants, dont le détail sera présenté dans toutes les sections suivantes de ce chapitre.

- En grande majorité, les analyses coûts-bénéfices examinées envisagent des effets de la politique publique qui correspondent essentiellement aux objectifs affichés par ladite politique publique et sont, en ce sens, sectoriels uniquement. Dans ce cas, aucune approche dynamique n'est de surcroît adoptée et seuls sont considérés les effets correspondant à un objectif (par exemple améliorer la desserte d'une ville par la construction d'une nouvelle

infrastructure de transport) dans la configuration économique du territoire au moment de la mise en place du projet public.

- Certaines analyses coûts-bénéfices cherchent toutefois à envisager des résultats qui dépassent le seul secteur dont relève l’objectif de la politique publique, et ces CBA se situent pour la majorité autour de l’an 2000. Or, c’est à cette année que sont notamment publiés deux rapports gouvernementaux présentant des directives sur la meilleure façon de mener des analyses coûts-bénéfices (Eijgenraam *et al.*, 2000; Banister et Berechman, 2001). De fait, la majorité de ces CBA publiées dans les années 2000 prennent appui sur ces deux rapports. Par ailleurs, à ceux-ci s’ajoutent deux autres analyses coûts-bénéfices traitant de la mise en place d’infrastructures de transport ferroviaires et qui prennent en compte d’autres effets que les seuls affectant le secteur des transports (Reilly, 2007; Rietveld et Van Wee, 2008). Nous avons identifié dans ces quatre CBA les typologies, explicites ou implicites, des analystes qui les ont menées afin d’identifier les effets des politiques en question, et il nous a paru nécessaire d’en fournir un détail dans la section 3.3. Nous avons fait l’hypothèse que chaque typologie d’effets fait ressortir l’objectif de l’analyste lorsqu’il a mené la CBA et nous les avons comparées avec la typologie que nous proposons en section 4.6.2.
- De plus, nous avons remarqué que trois de ces quatre¹ CBA envisagent une analyse qui semble dynamique dans le sens où le souhait affiché de l’analyste est de prendre en compte les effets qui pourraient survenir dans le futur. Nous nous sommes aussi intéressés à cette prise en compte et présentons nos commentaires dans la section 3.3.
- La troisième colonne de la représentation des résultats est étonnamment blanche, mais nous avons choisi de la faire paraître quand même : dans les CBA examinées, il n’y a pas de prise en compte sinon d’explication de la durée d’évaluation de la politique publique. La durée est toujours exogène et se calque toujours - lorsque cela est explicité - sur la durée de vie des éléments techniques inhérents à la politique (par exemple la durée de l’évaluation est la même que celle de la durée de vie des bus dans (Leung, 2013)), sur la durée de vie du projet (Givoni, 2006; de Rus, 2008) ou sur une durée de vie arbitraire (de vingt ans par exemple dans le cas de (Morgenstern, 1998) et de « vingt à trente ans »

1. Les analyses coûts-bénéfices de Banister et Berechman (2000) et de Banister et Berechman (2001) envisagent la même typologie d’effets, c’est pourquoi nous les avons considérées dans la même section.

dans le cas de (Rietveld et Van Wee, 2008) car « les effets à long terme doivent être pris en compte, même si la valeur du taux d'actualisation peut en diminuer la pertinence »). À aucun moment, il n'est donc question d'une durée de vie qui dépend de la probabilité de réalisation de l'effet identifié, ou de la « visibilité » de l'analyste en fonction de sa rationalité limitée.

- Enfin, nous avons également choisi de présenter plus en détail les CBA qui correspondent à quatre projets qui mêlent de façon très rapprochée les champs de l'environnement et de la mobilité. Ce sont des projets de restriction de la circulation automobile ou de renouvellement du parc routier dans des buts de réduction de la congestion routière et d'amélioration de la qualité de l'air. Comme ces quatre projets font largement écho à la problématique que nous nous sommes fixés dès le début de cette recherche, mais aussi aux applications de l'outil d'aide à la décision CoBAYe développées dans les Chapitres 8, 9 et 10, nous avons choisi de présenter au lecteur un aperçu des démarches d'évaluation aujourd'hui envisagées pour de telles politiques. Elles font l'objet des sections 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 et 3.4.4.

3.3 Étude des guides méthodologiques institutionnels pour la pratique de la CBA

3.3.1 La méthode pour conduire des CBA aux Pays-Bas

La méthode proposée

Dans le processus d'évaluation d'une politique publique, l'identification de ses conséquences n'est pas une procédure facile : c'est d'ailleurs une des « familles d'inconvénients » les plus importantes de la CBA, telles que définies et identifiées par Mouter *et al.* (2013), d'après les entretiens qu'ils ont menés avec 86 praticiens qui ont eux-mêmes réalisé des analyses coûts-bénéfices aux Pays-Bas sur la période 1995-2012. Quels sont exactement les effets qui doivent être envisagés avant l'étape de valorisation monétaire ? L'analyse de Snell (1997) dans le secteur des transports, par exemple, fait la distinction entre les bénéfices qui incombent aux utilisateurs de ceux qui s'appliquent aux non-utilisateurs de transports publics, ce qui correspond à une typologie similaire proposée par l'« Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle » (Meunier, 2009), qui fait une séparation entre les effets qui sont liés aux objectifs affichés d'une politique publique

et, au contraire, les effets qui sont liés aux objectifs accomplis, mais imprévus respectivement. Une telle typologie est parfois renforcée par l'intégration de coûts d'opportunité (Buchanan, 2008), comme indiqué dans l'évaluation socio-économique des systèmes de vélos en libre-service en France, menée par le Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE) (Cabanne, 2010) ou dans l'analyse coûts-bénéfices du remplacement accéléré de la flotte de bus de la ville de Hong-Kong (Leung, 2013).

Par ailleurs, en 1999 au Royaume-Uni et un an plus tard aux Pays-Bas, des directives ont été publiées sur la façon d'évaluer les projets d'infrastructures de transport, sur l'initiative d'organismes publics - respectivement en premier le Ministère britannique de l'Environnement, des Transports et des Régions (SACTRA, 1999) et en second l'intervention conjointe du Ministère Néerlandais des Transports, des Travaux Publics et de la Gestion de l'Eau et celui des Affaires Économiques. Les résultats des deux méthodes étant assez similaires, nous nous concentrons sur l'étude la plus récente, menée par le Bureau Néerlandais pour l'Analyse des Politiques Économiques², qui définit une typologie des trois types d'effets à prendre en compte dans une analyse coûts-bénéfices d'un projet de transport (Eijgenraam *et al.*, 2000) :

- (a) **les effets directs**, qui sont liés au secteur du transport, c'est-à-dire les effets de transport sur les opérateurs et les utilisateurs, et aussi les effets sur d'autres modes de transport (appelés « effets de réseau ») ;
- (b) **les effets externes**, qui correspondent en partie au concept économique d'externalités, sont ici des effets non-marchands. Ils sont divisés en deux groupes : ceux qui peuvent être exprimés en termes monétaires et ceux auxquels il n'est pas possible d'attribuer une valeur monétaire. Les effets de redistribution non-monétaires sont également ajoutés ;
- (c) **les effets indirects** sont les effets sur des marchés autres que le marché du transport : ils peuvent même inclure les « *wider economic effects* » (voire section 4.6.1) sur l'économie en tant que tout, au cours d'une analyse économique nationale.

2. Il s'agit du « *CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis* ».

Commentaires

Cette typologie fait donc ressortir une distinction sectorielle. En effet, confronté à une situation au cours de laquelle il doit évaluer des politiques de mise en place d'infrastructures de transport, l'analyste cherchera d'abord les effets relatifs au secteur des transports, indépendamment de la nature des acteurs concernés ou de l'ampleur des effets identifiés. La notion de « direct » renvoie donc à la proximité des effets avec le secteur étudié (ici, celui des transports).

Par ailleurs, cette typologie est à destination des praticiens et, de fait, reflète une volonté claire de mettre en évidence les effets mesurables et calculables de ceux qui ne le sont pas. La notion d'effet « externe », en l'occurrence, marque encore l'appartenance au secteur des transports, mais concerne les effets non-marchands (en tout cas immédiatement) par exemple un report modal ou un report de trafic. La typologie semble faire remarquer qu'il appartient alors à l'analyste de distinguer ceux pour lesquels il est possible d'attribuer une valeur monétaire de ceux pour lesquels cette étape n'est pas envisageable.

La notion d'effet « indirect » souhaite par conséquent prendre en considération tous les autres effets qui ne relèvent pas du seul secteur des transports, c'est-à-dire les effets sur l'économie dans son sens le plus large. Cette fois cependant, le rapport ne fait pas mention de la nécessité de départager les effets mesurables, voire quantifiables, de ceux qui ne le sont pas. En particulier, il semblerait, en lisant la typologie, qu'il ne soit pas nécessaire de prendre en compte uniquement des effets pour lesquels il est possible d'attribuer une valeur monétaire, et que la seule mention de l'existence de ces effets est suffisante pour l'analyse. Toutefois, cette seule lecture de la typologie semble en désaccord avec la suite du rapport, dans lequel il est demandé aux analystes de sommer ces bénéfices et ces coûts, pour arriver à une valeur de bénéfice net social. La somme des effets nécessitant leur transcription préalable en valeurs monétaires, il semblerait que la possibilité d'attribuer une valeur monétaire aux effets identifiés soit en fin de compte une condition nécessaire de leur identification (Eijgenraam *et al.*, 2000).

De plus, telle qu'elle est présentée, la typologie fait ressortir le souhait d'évaluer uniquement des effets qui ont lieu dans la configuration économique actuelle de l'économie au moment de la mise en œuvre de la politique publique. Il n'est pas conseillé à l'analyste, par exemple, de

rechercher les effets qui peuvent être engendrés par la mise en place de la politique publique et la nouvelle configuration économique du territoire qu'elle a engendrée. Autrement dit, il n'appartient pas à l'analyste de prendre en considération les stratégies et activités publiques ou privées qui peuvent être induites par la politique publique en réaction à, ou en prolongement de, celle-ci : une approche dynamique de propagation des effets n'est donc pas conseillée par le rapport.

La méthode de classification des effets proposée par Eijgenraam *et al.* (2000) est axée sur la praticité de l'évaluation, plutôt que sur l'identification des effets et est, par conséquent, clairement créée dans l'optique d'une utilisation fonctionnelle et opérationnelle. L'approche sectorielle peut néanmoins faire sens pour le commanditaire du projet. En effet, comme dans le cas de ce rapport, si le Bureau Néerlandais pour l'Analyse des Politiques Économiques a été chargé par les Ministères Néerlandais des Transports et des Affaires Économiques de rendre compte d'une méthode pour analyser les projets d'infrastructure de transport en utilisant la CBA, il n'est finalement pas surprenant que la typologie proposée fasse une distinction en deux parties : les effets sur le secteur des transports et les autres ; un commanditaire - détenant qui plus est les cordons de la bourse - souhaitant sans doute savoir quels sont les bénéfices qu'il pourra mobiliser pour la justification du projet dans l'institution *en interne*. Cette pratique semble être « de bonne guerre » si le critère principal est le taux de rentabilité en interne de la mise en place d'un projet, et ce critère peut même être pertinent pour des projets publics non-transversaux et restreints à une même sphère sectorielle. Cependant, dans le cas de projets transversaux, intersectoriels ou dont la mise en place est très susceptible d'affecter et d'influencer le comportement d'acteurs privés et publics du territoire à plusieurs échelles territoriales par exemple, il nous semble qu'un tel raisonnement n'est plus judicieux : une approche systémique nous paraît plutôt nécessaire, de manière à englober, dans la mesure du possible, les effets qui peuvent survenir sur la configuration économique du territoire intégralement, et même à des échelles temporelles différentes. Qui plus est, nous pensons que cette approche systémique commence dès la méthode d'identification des effets elle-même, et qu'une distinction sectorielle dans la typologie telle que présentée dans le rapport d'Eijgenraam *et al.* (2000) - ne peut pas permettre de rendre compte d'effets intersectoriels, de leur impact sur le comportement des acteurs du territoire concerné et de la dynamique de propagation des effets dans une approche systémique et tout au long du temps jugé nécessaire pour l'évaluation du projet. Pour tenir compte de ces éléments, en fonction des interdépendances existantes et futures

dans la configuration économique du territoire considéré, nous proposons d'une part une autre typologie d'identification des effets au Chapitre 4 (et en particulier la section 4.6.2) et, d'autre part, une méthode d'identification de la durée d'évaluation pertinente pour chaque effet identifié au Chapitre 5.

3.3.2 L'analyse coûts-bénéfices de projets de transports ferroviaires aux Pays-Bas

Au moins à première vue, les principaux coûts et avantages de nouveaux projets d'infrastructure éventuels semblent relativement faciles à estimer, ce qui fait de la CBA un outil intéressant pour l'évaluation *ex-ante* de ces projets. Mais tous les avantages pertinents sont-ils inclus dans les CBA, par exemple ceux liés à la valeur du lieu ? La réponse est non. Pour l'illustrer, Rietveld et Van Wee (2008) citent le rapport gouvernemental émis par le Conseil consultatif des Transports Néerlandais au sujet de l'évaluation des projets de transports et de travaux publics (Dutch Council for Transport and Public Works, 2004), dans lequel les auteurs distinguent plusieurs catégories de bénéfices associés aux transports publics :

- le développement économique et spatial,
- les possibilités de participer à des activités,
- la qualité de vie dans les zones urbaines centrales,
- la sécurité,
- et la stimulation de l'innovation par les acteurs du marché.

Cependant, selon les auteurs, la plupart de ces catégories d'avantages ne sont pas, ou du moins pas entièrement, incluses dans les CBA pratiquées aujourd'hui.

Les bénéfices de l'expérience d'un voyage

Les dimensions de l'expérience du trajet sont des bénéfices souvent ignorés dans les analyses coûts-bénéfices. En particulier, les investissements qui non seulement affectent l'utilisation fonctionnelle des agents économiques en termes de temps de voyage, mais aussi les valeurs liées à l'expérience de rester à l'intérieur d'une gare ou alentour, peuvent avoir des bénéfices additionnels qui sont pertinents pour une analyse coûts-bénéfices.

Rietveld et Van Wee (2008) montrent que les coûts de temps de déplacement sont différenciés et que les conditions dans lesquelles le déplacement a lieu ont un impact important. Cela a d'ailleurs conduit à une attention particulière aux dimensions liées à l'expérience du voyage (Van Hagen, 2004). En effet, lorsque le temps de voyage et temps d'attente sont inévitables, et que l'utilisateur d'un transport public doit aussi accepter un certain degré de manque de fiabilité, l'amélioration de la qualité de l'expérience au cours du voyage est un bénéfice non-négligeable. Pour les transporteurs, une partie de cette stratégie serait d'améliorer la commodité du voyage. On pourrait citer par exemple la garantie qu'une place assise soit disponible, même pendant l'heure de pointe ou que les plates-formes soient sûres et propres, ou encore que les salles d'attente soient chauffées. Les bénéfices d'expérience de ce type sont cependant généralement ignorés dans les CBA. Ils sont néanmoins potentiellement pertinents pour l'évaluation des projets de transport. Construire des aires agréables autour des stations de train avec une qualité particulièrement élevée les rend non seulement plus agréables pour les visiteurs, les employés ou les résidents, mais peut également conduire à une augmentation de leur nombre. Ces deux facteurs sont pertinents dans les CBA.

Quelques effets absents dans les CBA néerlandaises

D'après la revue de la littérature réalisée par Rietveld et Van Wee (2008) aux Pays-Bas, la CBA y est une méthode populaire pour l'évaluation *ex-ante* de projets d'infrastructures de transport. Sa popularité s'explique en partie par le fait que les coûts et les bénéfices, pour la majorité d'entre eux, semblent être bien connus et peuvent être exprimés relativement facilement en termes monétaires. Cependant, la pratique actuelle en matière d'analyse coûts-bénéfices de projets ferroviaires ignore plusieurs catégories de bénéfices, comme celles citées précédemment. Elles sont en partie liées à la fonction de l'infrastructure ferroviaire en tant que réseaux de transport, mais aussi aux valeurs des lieux choisis pour les gares et stations du réseau ferroviaire. Pour les auteurs, les sujets importants qui ne sont actuellement pas couverts comprennent par exemple les questions de surplus d'équivalence, de valeurs des terres et des bénéfices d'expérience, examinés précédemment. De surcroît, les catégories de bénéfices ignorés peuvent être considérables. Leur inclusion peut donc influencer de manière significative le ratio bénéfices - coûts des projets ferroviaires. Cela amène Rietveld et Van Wee à conclure que les analyses coûts-bénéfices actuelles

ne sont donc que d'une utilité limitée pour les décisions politiques. Pour lui, le problème ne réside pas dans la méthode de la CBA elle-même, mais plutôt de l'intrant nécessaire pour le modèle étant donné qu'il découle du secteur des transports et d'autres modèles.

Toutefois, certains des bénéfices additionnels sont très difficiles à exprimer directement en termes monétaires, comme par exemple les bénéfices d'expérience. Une méthode alternative est donc proposée, qui consiste à classer ces bénéfices, permettant ainsi aux chercheurs de se positionner entre d'autres catégories de bénéfices auxquelles il est possible d'attribuer une valeur monétaire. De cette façon au moins, un intervalle de bénéfices monétaires pourrait être connu. Enfin, pour les auteurs, une autre solution à ce problème pourrait être la combinaison de la CBA et de l'analyse multi-critères (MCA), les bénéfices additionnels pouvant dans ce cas être inclus dans « la partie MCA » de la méthode d'évaluation *ex-ante*.

Cette analyse montre que la CBA telle que pratiquée aux Pays-Bas pour l'évaluation des projets d'infrastructures de projets publics ne tient pas compte de bénéfices extérieurs au seul secteur des transports. Les auteurs s'en plaignent même avant d'inciter le lecteur à adopter la méthode nationale néerlandaise qui tiendrait quant à elle compte des conséquences liées au développement économique et spatial du territoire, tant sur les stratégies des acteurs qui le composent que sur les externalités environnementales dont ils bénéficient (Eijgenraam *et al.*, 2000). Toutefois, quand bien même elle envisagerait de façon exhaustive, dans la mesure du possible, les conséquences du projet public, cette méthode ne propose pas une façon de procéder dans la pratique pour identifier lesdits effets. C'est ce point pratique que nous souhaitons également développer dans la construction de l'outil d'aide à la décision CoBAYe dans la Partie II (et en particulier le Chapitre 4).

3.3.3 L'évaluation de projets au Royaume-Uni

Les valeurs ajoutées que proposent les auteurs

L'article de Banister et Berechman (2001) est une proposition de méthode pour analyser les effets qui découlent de l'investissement dans des infrastructures de transport. Dans celui-ci, ils font remarquer que l'analyse coûts-bénéfices ne prend que très rarement en compte les bénéfices

qui ne relèvent pas du secteur du transport, et proposent ainsi une méthode pour en tenir compte, permettant ainsi d'envisager les effets qui pourraient contribuer à une croissance économique. Leur analyse se fonde sur deux facteurs clés :

- « la prise en compte du réseau », qui signifie que chaque projet de transport doit être envisagé dans le cadre d'un réseau local, régional ou national. Cela a d'autant plus d'importance quand il s'agit d'un projet de transport ferroviaire, voire même viaire : l'effet d'un investissement peut par exemple être dramatiquement différent quand le projet relie deux réseaux disjoints ou quand il s'agit simplement d'un lien additionnel à un réseau déjà construit ;
- le second facteur est ce que les auteurs appellent « les objectifs et critères prioritaires ». Selon eux, « la majorité des bénéfices doit être liée au transport ; en effet, dans le cas contraire, quel est l'intérêt d'investir dans le secteur des transports ? »³. Ils ajoutent en particulier que l'existence d'un lien fonctionnel entre les bénéfices primaires de transport (par exemple les améliorations de l'accessibilité) et les effets de croissance potentiels est nécessaire pour compter ces-derniers dans l'analyse.

Ils proposent ainsi une « approche jumelle » de l'analyse coûts-bénéfices pour évaluer les projets de transport en prenant en compte les effets de croissance, fondée sur la typologie suivante :

- l'analyse coûts-bénéfices traditionnelle :
 - bénéfices de transport pour les usagers,
 - coûts d'investissement,
- l'analyse complémentaire du développement économique :
 - effets de réseau - analyse de l'accessibilité,
 - valeurs ajoutées du projet (changements en ce qui concerne les emplois, les facteurs de productivité ou la qualité environnementale)
 - les priorités (impacts spatiaux en termes de lieux, impacts sociaux en termes de redistribution)

3. « *The majority of benefits need to be transport related, since otherwise why invest in transport facilities in the first place ?* » (Banister et Berechman, 2001, p.5).

Commentaires

L'analyse de Banister et Berechman (2001) montre que les auteurs ne sont pas non plus satisfaits de l'analyse coûts-bénéfices traditionnelle, dans le sens où elle ne rend pas compte dans la pratique des effets de développement économique que permet le projet public. Ainsi, ils proposent une méthode pour envisager des effets qui ne sont pas forcément reliés au secteur des transports.

Cette méthode a certes l'avantage d'être plus étendue que la seule prise en compte des effets du seul secteur des transports, mais elle n'est pas satisfaisante à plusieurs titres :

1. La condition d'« objectifs et de critères prioritaires » que mentionnent les auteurs peut inviter l'analyste à restreindre l'identification des effets du projet public, car ceux-ci n'ont pas de « lien fonctionnel » avec le secteur des transports. Certes, c'est un projet du secteur des transports qui a été financé, mais pourquoi cela nécessite-t-il une analyse des effets les plus proches du secteur des transports ? Pour des raisons administratives ou budgétaires, le client du projet est sans doute une institution publique qui a à sa charge le secteur des transports, et il peut sembler logique qu'elle veuille d'abord s'assurer des bénéfices dans son secteur, mais ce raisonnement est-il pertinent dans une perspective de projet public, pour le public ? À notre sens, si un projet public engendre des effets qui n'auraient pas eu lieu dans le scénario « au fil de l'eau » (c'est-à-dire le scénario qui examine la situation qui aurait eu lieu sans mise en œuvre du projet public, voir la section 7.3), alors l'analyste doit au moins les mentionner, quitte à faire des hypothèses explicites et visibles sur la nature ou l'importance de leur occurrence, voire sur leur mesure. En effet, il est important qu'un décideur public se rende compte de tous les effets que peut engendrer un projet de transport, ou d'énergie (ou quel que soit le secteur qui caractérise ledit projet). Pourquoi se restreindre uniquement à des effets liés au secteur initial ? Toutes les conséquences du projet doivent être connues, dans la mesure du possible, autrement comment un décideur peut-il prévoir, anticiper et agir en conséquence si des « effets secondaires » ont lieu ? Ou mieux, si ce projet engendre des débouchés dans d'autres secteurs, pourquoi se priver de leur connaissance quand il est possible⁴ de les promouvoir ? Si un projet d'installation

4. Le lecteur aura raison, ici, de remarquer que l'auteur adopte un point de vue à l'encontre même des hypothèses de Smith, ou même des néoclassiques. Les actions du décideur dépendent bien sûr de ce pourquoi il a été élu, et

d'antennes de télécommunication, dont le but est de rendre accessible à tous une connexion haut débit, permet le développement d'activités de mobilité active et concertée, car elle a permis le développement d'activités de covoiturage et d'intermodalité⁵ via la création d'applications sur « smartphone », fallait-il restreindre l'évaluation de l'investissement des antennes au seul secteur des télécommunications ? De même, si un projet d'infrastructures de transport, comme une mise en place d'un réseau d'infrastructure de bornes de recharge pour véhicules électriques en ville, permet l'émergence d'activités de location ou de vente de batteries électriques, activités qui n'auraient pas vu le jour sans le projet, ne faut-il pas également les envisager dans l'évaluation du projet ? Or, si l'on souhaite prendre en compte tous les effets, dans la mesure du possible, qui sont des conséquences du projet public, jusqu'à quand et jusqu'où s'arrêter ? Quelles sont les limites temporelles et spatiales de cette démarche d'évaluation ? Nous proposons dans la partie suivante des propositions de réponses à ces questions à travers la méthodologie de l'outil d'aide à la décision CoBAYe (et en particulier le Chapitre 5).

2. Par ailleurs, les changements suggérés en tant que « valeurs ajoutées du projet » dans la typologie de Banister et Berechman (2001) semblent exhaustifs : il est question de changements en ce qui concerne l'emploi, les facteurs de productivité et la qualité environnementale. Or s'il s'agit d'externalités d'allocation - comme le mentionnent les auteurs : « pourquoi ne pas inclure d'autres externalités, comme la sécurité ou encore la santé des individus ? »
3. Enfin, la typologie présentée ne fait pas mention de la nature et des caractéristiques mêmes des acteurs qui composent le territoire sur lequel le projet public est mis en œuvre. En effet, un projet public est « territorialisé », c'est-à-dire que, d'une part, il ne sera pas le même et n'aura pas les mêmes conséquences sur un autre territoire et, d'autre part, les potentialités du projet ne pourront pas être pleinement réalisées si l'évaluation fait abstraction des caractéristiques des individus et du territoire qui sont sous-jacentes au projet. Leur identification n'est certes pas aisée, mais elle correspond sans doute à un des critères

aussi de sa rationalité - fût-elle limitée, ou cachée. On suppose donc pour cet exemple que le décideur adopte une rationalité de bienfaiteur, et qu'il souhaite satisfaire le bien-être non seulement de ses votants, mais aussi de ceux qui pratiquent le territoire sur lequel il a une autorité légitime.

5. En toute rigueur, nous proposons que ces effets soient aussi pris en compte uniquement s'ils n'auraient pas non plus eu lieu dans le scénario « au fil de l'eau ».

principaux du décideur : n'a-t-il pas été élu par les acteurs du territoire ? Ne cherche-t-il pas à savoir qui sera satisfait et qui sera lésé par la mise en place du projet public ? Que sa rationalité soit de maximiser le bien-être de ses habitants ou le sien uniquement (ou un compromis entre ces deux cas), la recherche du « qui ? » est une des préoccupations majeures d'un décideur public. Bien sûr, les questions de compensation et de redistribution ne sont pas aisées⁶ et feront toujours grincer des dents, et les questions de valorisation monétaire ne seront pas aisément résolues du fait de la diversité des individus qui composent le territoire, mais cela n'empêche pas l'analyste d'essayer d'identifier au moins l'identité des individus qui bénéficient ou qui supportent les conséquences du projet public, et de clairement les mentionner dans son analyse, même si l'étape de valorisation monétaire n'est pas réalisée. La notion de « périodisation » des effets, dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe, propose des éléments pour permettre cette identification (voir section 6.2.3).

3.3.4 L'évaluation de projets en Californie

Le rapport à destination de la « *California High-Speed Rail Authority* » propose une méthode pour l'évaluation de projets fondée sur la prise en compte d'effets régionaux ou nationaux, suite à la mise en place d'infrastructures ferroviaires (Reilly, 2007).

La méthode proposée est en deux temps. D'une part, l'estimation des « impacts économiques directs »⁷ et d'autre part l'estimation des « impacts économiques régionaux totaux »⁸.

Parmi les « impacts économiques directs », les auteurs considèrent les *bénéfices de transport uniquement*, et les classifient selon quatre catégories :

1. les économies réalisées par le secteur privé, c'est-à-dire les réductions de temps de trajet et/ou de coûts pour les voyageurs et pendulaires sur des trajets de longue distance à caractère professionnel, qui sont dues aux améliorations de transport ;
2. les effets d'attraction pour les commerces, c'est-à-dire les commerces créés ou réaménagés qui bénéficient de l'amélioration de leur accessibilité, rendue possible grâce aux investissements dans le secteur des transports ;

6. Les critiques des critères de Pareto ou de Kaldor-Hicks en sont de bons exemples (voir section 2.2.1).

7. « *Direct Economic Impact* » en anglais.

8. « *Total Regional Economic Impacts* » en anglais.

3. les changements d'aménité ou de la qualité de la vie, c'est-à-dire les changements de temps de trajets pour les déplacements à caractère privé et d'autres bénéfices sociaux qui améliorent l'attractivité d'une région ;
4. les économies réalisées par les dépenses dans les ménages, c'est-à-dire de meilleures alternatives modales, des niveaux d'amélioration de service et une réduction des dépenses sur les tarifs, les véhicules, le carburant ou l'entretien.

De plus, parmi les « impacts économiques régionaux totaux », les auteurs envisagent de tenir compte :

1. *des bénéfices de report modal*, en temps de trajet, en économies sur les dépenses et sur les trajets induits par l'accessibilité de l'infrastructure routière, réalisés par des individus qui n'auraient pas pris les transports auparavant.
2. *des bénéfices dus à la réduction de la congestion*, par les économies réalisées dans les temps de trajet sur les voies routières et aériennes si plus de personnes empruntent les transports ferroviaires.
3. *des bénéfices de l'accessibilité des marchés*. Ces effets prennent en compte l'activité économique additionnelle rendue possible par un meilleur accès aux marchés du travail, de la demande et de la consommation. En effet, pour les auteurs, si une région a de nouveaux ou de meilleurs accès à ces facteurs de production (ou de consommation), alors l'augmentation de la productivité qui en résulte peut induire les entreprises à se développer ou à s'étendre, et d'autres entreprises peuvent même vouloir venir s'installer sur le territoire, attirées par cette productivité. Un meilleur accès aux transports peut également se traduire par une proximité aux facteurs de production et aux centres de consommation.
4. *des bénéfices sociaux*, entendus par les auteurs comme une réduction du nombre d'accidents ou une amélioration de la qualité de l'air, engendrés par une réduction du nombre de trajets automobiles.

Commentaires

Contrairement à l'analyse coûts-bénéfices traditionnelle, la méthode développée pour la « *California High-Speed Rail Authority* » a l'avantage de prendre en compte des effets qui ne sont pas

restreints au seul secteur des transports. À nouveau, comme l'avaient fait Banister et Berechman (2001), les auteurs du rapport proposent une méthodologie en deux temps : dans un premier temps l'identification des effets relatifs au seul secteur des transports et, dans un second temps, une analyse plus étendue sur des critères relatifs à d'autres secteurs que le seul secteur des transports. Un point en particulier mérite d'être précisé : dans leur typologie, les auteurs cherchent également ce qu'ils appellent des « bénéfices de l'accessibilité des marchés ». Ainsi à la fois :

- les conséquences d'une meilleure accessibilité des facteurs de production et de consommation pour le secteur public et privé du territoire sont prises en compte,
- mais aussi et surtout des créations d'activités, et même des créations de marché sont aussi des effets que la méthode souhaite pouvoir identifier.

Une approche plus dynamique est donc proposée dans l'examen des conséquences du projet public, afin de tenir compte d'un développement économique - quand bien même est-il régional, voire local. Certains points sont néanmoins sujets à des commentaires :

- Parmi les « impacts économiques directs » que proposent les auteurs, le mot « direct » fait ici référence au secteur, c'est-à-dire tous les effets qui ont trait au secteur du transport, *de facto* comme les réductions de temps de trajet ou de coûts pour les voyageurs pendulaires, ou dont le lien de causalité avec le projet public est moins immédiat comme dans le cas des effets d'attraction pour les entreprises ou des économies réalisées par les ménages. En un sens, le « lien fonctionnel » évoqué par Banister et Berechman (2001) est ici bien présent. Dans la typologie qui sera présentée dans la partie suivante, nous choisissons un autre sens pour le vocable « direct », non pas lié de façon sectorielle au projet, mais plutôt relatif à son objectif : les effets d'un projet sont donc qualifiés de « directs » à notre sens s'ils résultent des objectifs du projet public ou de sa mise en œuvre, sans autre intervention des pouvoirs publics.
- Une autre remarque de vocabulaire nécessite une précision. Parmi ce que les auteurs appellent des « impacts économiques régionaux totaux », il est intéressant de remarquer qu'ils ne font état que des « bénéfices » qui peuvent avoir lieu à l'issue du projet de transport. Au moins deux interprétations sont possibles.

- (i) Soit effectivement, les auteurs ne souhaitent tenir compte que des avantages dont peuvent bénéficier les agents économiques concernés, comme dans le cas de la méthode des effets (Grefte, 1997)⁹.
 - (ii) Soit le terme de « bénéfiques » est défini dans son sens mathématique le plus étendu, c'est-à-dire qu'il peut être positif ou négatif, s'il caractérise un avantage ou un inconvénient respectivement ; le terme de « bénéfiques » désignerait ainsi ou bien effectivement des bénéfiques en valeur absolue et comptés positivement, ou bien des coûts en valeur absolue et comptés négativement.
- Par ailleurs, le quatrième type d'« impacts économiques régionaux totaux » traite des « bénéfiques sociaux », entendus comme ceux qui relèvent de la sécurité routière ou de la pollution atmosphérique. Nous soutenons que cette catégorie mérite d'être plus vaste, au sens que non seulement elle devrait prendre en compte ces deux externalités économiques de consommation (auxquelles on devrait également par exemple ajouter la réduction de la pollution sonore, l'amélioration de la santé ou la réduction des temps de trajet), mais aussi des externalités économiques de production, comme par exemple ce qui caractérise les agents économiques, acteurs du déplacement : la variation de leur bien-être en étant en mesure de profiter du nouveau mode de transport, la variation d'utilité qui peut être engendrée par l'émergence de nouvelles opportunités de modes de déplacement, et donc de nouveaux choix et de nouveaux usages qui peuvent en découler, ainsi que des motifs de déplacement, qui peuvent être nouveaux ou refaçonnés. En outre, il nous semble nécessaire de placer l'acteur économique et le territoire qu'il pratique au centre de l'analyse. C'est ce point de vue qui guide la construction de l'outil d'aide à la décision CoBAYe, tel que présenté dans la Partie II (et en particulier le Chapitre 4).
- Enfin, la méthodologie proposée, à destination de la « *California High-Speed Rail Authority* », s'intéresse évidemment aux conséquences de projets publics tels que la mise en œuvre d'infrastructures lourdes. Toutefois, bien que les effets sont plus visibles avec ce type de projets, la même recherche d'effets intra et intersectoriels est à notre sens nécessaire quel que soit le type de projet considéré.

9. Cette option semble toutefois peu vraisemblable, puisqu'elle introduit un biais fort quant aux hypothèses d'objectivité et d'exhaustivité qu'un analyste se devrait de respecter.

3.4 Études de cas : quatre CBA de politiques d'amélioration de la qualité de l'air

3.4.1 L'évaluation économique d'une mesure de renouvellement de la flotte de bus à Hong-Kong

Contexte

L'article de Leung (2013) présente une analyse coûts-bénéfices d'une politique possible que l'auteur envisage lui-même pour la ville de Hong-Kong : un remplacement accéléré de la flotte de bus publique et privée dans le but d'améliorer la qualité de l'air dans la ville. Les résultats présentés sont clairement positifs (plus de 2,6 millions de dollars HK de bénéfices nets), et l'auteur envisage même de proposer une telle politique non seulement à la ville de Hong-Kong mais aussi à d'autres villes asiatiques qui souffrent d'une pollution atmosphérique importante. L'idée de Leung est donc d'agir sur la mobilité urbaine - et plus spécifiquement sur la flotte de transports publics urbaine via les bus - pour réduire la pollution atmosphérique. Cette mesure est somme toute très semblable à certaines « *Low Emission Zones* » européennes, notamment en Europe du Nord, qui ont mis l'accent sur la restriction de circulation de bus et de poids lourds pour améliorer la qualité de l'air urbain (voir le Chapitre 10 et en particulier la section 10.1.1). Par conséquent les intérêts de l'analyse de cette évaluation coûts-bénéfices sont doubles :

1. d'une part elle permet de savoir dans quelle mesure la même technique d'évaluation est appropriée pour une politique publique de mobilité et d'environnement à Paris, par exemple une « Zone à Circulation Restreinte » (voir le Chapitre 10) ;
2. d'autre part, elle permet d'analyser, sur un plan plus théorique, comment un praticien mène une analyse coûts-bénéfices : quelles hypothèses sont prises - implicites et explicites, quelle méthode est envisagée pour l'évaluation, quelles techniques de valorisation monétaire sont choisies, et surtout à quel point la pratique de l'évaluation coûts-bénéfices est-elle différente de la théorie ?

Hypothèses prises

De quelle mesure s'agit-il ?

L'auteur utilise la classification internationale des normes « Euro » pour distinguer les différents bus qui sont utilisés à Hong-Kong¹⁰. Dans la mesure publique qu'il imagine, le gouvernement national rachète tous les bus de norme *Euro I*, *Euro II* et *Euro III*, et les remplace avec des bus de norme *Euro V*. Pour cela, le coût de l'achat des bus *Euro V* serait à la charge conjointe du gouvernement et des opérateurs de bus « de façon proportionnelle, de telle sorte que les opérateurs de bus ne seraient ni gagnants ni perdants selon la mesure proposée » (Leung, 2013, p.335-336).

Hypothèses de quantification des données

Pour procéder à une évaluation de la mesure envisagée en ordres de grandeur, l'auteur fait les hypothèses suivantes :

- La densité de bus dans la ville-île de Hong-Kong est plus importante que dans les autres territoires de Hong-Kong - prise en tant que « Région administrative spéciale de Hong-Kong de la République populaire de Chine ». Ainsi l'auteur prend des données légèrement supérieures à celles de la moyenne régionale pour la densité des bus.
- De même il existe une différence de vitesse des bus dans la ville-île de Hong-Kong : cette région étant plus dense que les deux autres, *Kowloon* et les *Nouveaux Territoires*, l'auteur utilisera des données de vitesse inférieures aux données régionales auxquelles il a accès.

Ces deux hypothèses sont certes semi-quantitatives uniquement, car le choix de l'ampleur de la variation de ces deux grandeurs (densité des bus et vitesse) reste qualitatif et sujet aux choix de l'analyste en l'absence de données sur le territoire sur lequel se concentre l'étude (la ville-île de Hong-Kong dans ce cas). Cette hypothèse est pourtant utilisée par de nombreux analystes en l'absence de données plus fiables, et le cas de la Région île-de-France et en particulier de Paris, est très similaire : une transposition des données

10. Comme il sera présenté plus en détail dans le Glossaire, en fin de manuscrit, la norme *Euro V* est plus restrictive que la norme *Euro IV*, elle-même plus contraignante que la norme *Euro III* sur la technologie « propre » à adopter par les constructeurs automobiles, et ainsi de suite.

- nationales au territoire de la capitale en l'absence de données à échelle plus fine se fait très souvent par approximations qualitatives de données quantitatives ¹¹.
- L'auteur fait aussi l'hypothèse que chaque bus parcourt les mêmes distances, quelle que soit la catégorie de *norme Euro* à laquelle il appartient.
 - Par la même occasion, les émissions des bus sont supposées conformes et en proportion directe avec les caractéristiques d'émission propres aux *normes Euro*.
 - De plus, sans s'inquiéter des problèmes de transposition de territoire et notamment de « structure topo-économique du territoire » ¹², l'auteur utilise des mesures d'émission réelle de véhicules menées sur d'autres territoires (majoritairement en Europe du nord et en Chine) pour pallier le manque de données de même nature sur la ville-île de Hong-Kong (Rabl, 2002; Erlandsson *et al.*, 2008). À sa décharge, il est difficile de faire autrement avec des ressources limitées - qu'elles soient temporelles ou financières. Aussi, cette utilisation de données intermédiaires est un « passage obligé » largement accepté et utilisé par de nombreux analystes pour des évaluations économiques. Il est toutefois nécessaire de mentionner les hypothèses choisies pour garantir une analyse des résultats appropriée et une éventuelle mise en perspective ou poursuite de l'évaluation plus pertinente par l'utilisation d'autres ensembles de données.
 - Enfin, la relation mathématique entre le nombre total de bus et le volume total de polluants émis est supposée linéaire, pour une composition de flotte de bus constante.

Ces quatre dernières hypothèses permettent à l'auteur d'homogénéiser et de simplifier les calculs (notamment par de simples multiplications) pour le calcul de la réduction d'émissions engendrée par le retrait de circulation des bus de normes *Euro I*, *Euro II* et *Euro III* et leur remplacement par des bus de normes *Euro V*.

Quelles hypothèses théoriques ?

Les hypothèses économiques sous-jacentes à la rédaction de l'article sont implicites. L'auteur n'en cite aucune, et il est possible que ce choix soit délibéré s'il suppose que la seule mention de l'« analyse coûts-bénéfices » renvoie implicitement aux hypothèses qui sous-tendent la CBA.

11. Par exemple dans le cas des enquêtes nationales et régionales de mobilité, respectivement l'Enquête Nationale Transport (ENT) et l'Enquête Globale Transports (EGT).

12. Cette expression est définie en section 6.2.3.

Toutefois, il nous semble important, dans l'optique de mettre en parallèle la théorie et la pratique dans cette section, d'essayer de mettre en évidence les hypothèses réelles utilisées par les praticiens :

- **L'hypothèse de rationalité parfaite.** Il n'est pas évident d'affirmer si l'auteur considère que les acteurs concernés par la mesure politique sont en situation de rationalité parfaite ou non. En effet, aucun acteur n'a un comportement réellement identifié dans l'article et l'analyse reste assez « impersonnelle » à ce sujet. Toutefois, en analysant les caractéristiques de la politique publique, une des hypothèses formulées par Leung est que les opérateurs de bus participent à l'achat de bus de normes *Euro V* uniquement à hauteur de ce qu'ils ont touché par la vente de leur bus de norme pré-*Euro IV*, de telle sorte qu'ils ne ressentent pas de résultat sur leur trésorerie. Nous pouvons donc supposer que l'individu opérateur de bus est considéré comme rationnel au sens où il est motivé par son intérêt personnel et cherche à maximiser son bien-être par l'échange « gratuit » d'un bus ancien contre un bus de norme *Euro V*, bénéficiant ainsi d'économies réalisées en coûts d'entretien, d'amortissement, voire de dépollution puisqu'il n'a plus besoin d'acheter de filtre à particules fines, par exemple. Par ailleurs, et sur un autre plan, ces éléments ne nous paraissent pas négligeables ; or ils ne sont pas du tout pris en considération par l'analyse de Leung. C'est une des raisons pour lesquelles nous prônons une évaluation qui tienne compte de ces effets induits¹³ et ne s'arrête pas uniquement aux conséquences immédiates et statiques de la mesure publique¹⁴.
- **Les préférences révélées.** L'étape de valorisation monétaire dans l'article suggère l'utilisation de méthodes directes pour connaître la « valeur de la vie statistique » d'un individu. Pour cela, ces méthodes se fondent sur le fait que les « agents économiques choisissent ce qu'ils veulent, c'est-à-dire [...] que leurs préférences sont révélées à travers leur comportement » (Robinson et Hammitt, 2011).
- Certaines hypothèses de la **concurrence pure et parfaite** sont partagées de façon implicite par l'auteur comme par exemple l'absence de prise en compte de certaines externalités (dont la revente ou la casse des bus de norme pré-*Euro IV*), l'information parfaite des agents sur les bénéfices qu'ils tirent de cette mesure, ou encore une absence

13. La définition exacte de ce terme se trouve en section 4.6.2.

14. Ce point sera développé plus en détail dans la section 3.4.1.

de barrières à l'entrée ou à la sortie du marché du transport de voyageurs, puisque chaque opérateur de bus a l'autorisation de participer à la revente de son bus de norme pré-*Euro IV* et de recevoir comme outil de travail un bus de norme *Euro V*.

- Finalement des hypothèses fondamentales sont à nouveau implicites dans la rédaction de l'évaluation économique, telles que l'inscription dans un champ théorique qui découle de **l'économie néoclassique** et de **l'économie du bien-être**, avec l'utilisation du critère de Pareto et de la méthode des surplus pour connaître la valeur de biens marchands, eux-mêmes sous-jacents dans le calcul de la valeur monétaire des biens environnementaux (comme la qualité de l'air).

Les hypothèses ainsi identifiées sont implicites dans la rédaction de l'analyse coûts-bénéfices de Leung (2013). Leur identification traduit pourtant bien le fait que l'auteur ne déroge pas aux principes théoriques sous-jacents à l'analyse coûts-bénéfices. Pourtant, certaines caractéristiques théoriques ne sont pas mises en œuvre dans la pratique : par exemple le faible nombre de conséquences prises en considération dans l'analyse. Ceci peut s'expliquer par un oubli, par le fait que des conséquences soient jugées négligeables ou encore par une difficulté d'adéquation de la théorie à l'application dans la pratique de l'analyse coûts-bénéfices. C'est la troisième explication que nous privilégions et c'est pour cette raison que nous cherchons à proposer un outil d'évaluation et d'aide à la décision qui soit en mesure de lever une partie de ces limites à travers la méthodologie CoBAYe, comme présenté dans la Partie II (et en particulier le Chapitre 4).

Discussions sur la méthode d'évaluation

Une typologie d'effets ?

Les coûts de la mesure publique. L'analyse coûts-bénéfices telle que perçue dans cet article se compose de l'étude des coûts d'une part et l'étude des bénéfices de l'autre. En ce qui concerne les coûts, Leung (2013) ne prend en compte que ce qu'il appelle des coûts directs dans son analyse, c'est-à-dire des coûts relatifs à l'achat des bus et au fait d'employer du personnel administratif pour la gestion de la flotte et du « partage » financier entre le gouvernement et les opérateurs de bus. Plus exactement, les coûts pris en compte sont les suivants :

- le rachat des bus de normes *Euro I*, *Euro II* et *Euro III* par le gouvernement de Hong-Kong ;

- l’achat des bus de normes *Euro V* par les opérateurs de bus et le gouvernement de Hong-Kong ;
- le paiement des salaires des employés additionnels, dont le travail permet la gestion du financement des bus et leur utilisation ;
- la réduction du temps passé par les employés du secteur public, dont la charge est d’attribuer des subventions aux propriétaires de certains véhicules, est négligée ;
- une augmentation des taxes, pour financer l’achat initial des bus de norme *Euro V*, qui est un coût additionnel pour la société civile.

Ainsi, les coûts pris en considération par l’auteur témoignent uniquement d’une catégorie liée aux coûts immédiats de la mesure publique, à travers les coûts de mise en place de la mesure (coûts d’achat) et quelques coûts d’opération et d’entretien (salaires). Pour ne citer que deux éléments, par exemple :

1. Leung ne tient donc compte dans cette analyse que du *seul secteur des transports publics* à travers l’achat des bus et l’emploi additionnel des gestionnaires de cette flotte. Même si l’on ne souhaite pas intégrer les effets de cette mesure sur d’autres secteurs à interdépendances existantes, l’auteur ne fait pas mention par exemple du devenir des bus de normes pré-*Euro IV* rachetés par le gouvernement de Hong-Kong. Sont-ils revendus ? Et dans ce cas, la population d’accueil souffrirait-elle de pollution atmosphérique inexistante avant ? ou bien sont-ils « mis à la casse » ? Y a-t-il des bénéficiaires de la revente ou de la destruction de ces bus ?
2. Par ailleurs, **l’analyse est statique**, c’est-à-dire que, même en prenant le parti de conduire l’évaluation jusqu’en 2026, Leung ne fait mention ni dans le scénario de référence ni dans le scénario de projet (celui qui est évalué) des conséquences futures de la mise en place de la mesure publique. Le fait d’avoir des bus plus *propres* (au sens *environnemental* du terme) engendre-t-il plus de déplacements en transports collectifs ? Des acteurs privés développent-ils une offre alternative de transports ? Des véhicules *propres* se généralisent-ils également aux autres flottes de véhicules routiers, par exemple les poids lourds, les véhicules utilitaires légers, ou même les véhicules légers, que ce soit par volonté d’acteurs privés ou par réglementation de décideurs publics ? Par ailleurs, l’analyse allant *de facto* jusqu’en 2026,

pourquoi ne pas envisager d'autres motorisations d'ici-là, peut-être promues par l'usage de véhicules moins polluants ? Aucune propagation des effets n'est envisagée dans l'analyse coûts-bénéfices proposée par Leung (2013). Cette absence de point de vue dynamique dans l'évaluation est d'autant plus marquée que la durée d'évaluation est relativement longue, et suffisante pour permettre un développement d'activités privées ou publiques. Ce point est discuté plus en détail en section 6.2.3 et au Chapitre 4.

Enfin, le concept de coûts d'opportunité n'est pris en considération dans cette étude économique que pour justifier qu'il est préférable de remplacer de façon accélérée le parc actuel de bus *Euro I*, *Euro II* et *Euro III* plutôt que d'attendre que les bus soient obsolètes pour effectuer leur remplacement. Il est donc explicite si le scénario de référence est détaillé, et implicite sinon.

Les bénéfices de la mesure publique. Deux bénéfices sont envisagés dans cette évaluation économique : il s'agit d'une part du nombre de vies sauvées par la réduction de la pollution atmosphérique et, d'autre part, de l'absence de perte de productivité des employés car, n'étant plus malades, ils n'ont plus besoin d'être hospitalisés.

La méthode qu'utilise l'auteur pour calculer ces bénéfices est la suivante :

1. calculer la réduction de pollution (en émissions) engendrée par l'utilisation de bus de norme *Euro V* plutôt que de normes antérieures ;
2. relier les concentrations de polluants (notamment les particules fines de moins de dix microns de diamètre (PM_{10}) et le dioxyde d'azote (NO_2)) aux pourcentages de décès. Ces deux éléments de méthode permettent de trouver - selon l'auteur - le nombre de vies sauvées grâce au remplacement accéléré des bus pré-*Euro IV* ;
3. mesurer la *valeur de la vie statistique*, avec des calculs fondés sur des méthodes directes ou indirectes. L'ajout de ce troisième élément permet alors d'attribuer une valeur monétaire au nombre de vies sauvées ;
4. relier les émissions (en grammes ou en grammes/kilomètre) aux nombre d'hospitalisations, qui engendre également une perte de productivité. Enfin, ce dernier élément permet de donner une autre valeur monétaire qui caractérise un autre bénéfice de la réduction de la pollution atmosphérique, à savoir l'absence de perte de productivité de la part des employés.

Il est important de noter que l'auteur fait un raccourci conséquent, et scientifiquement inexact dans son calcul de la valeur monétaire des vies sauvées grâce à une réduction de pollution. En effet, les normes *Euro* et les caractéristiques qu'il prend des véhicules ne peut permettre d'obtenir qu'un rejet des *émissions* de ces véhicules. Toutefois, le rapport de l'OMS qu'il utilise crée une relation entre une *concentration* de polluants atmosphériques et un taux de mortalité (World Health Organization Regional Office for Europe, 2006). Un simple produit en croix, comme le fait l'auteur, est dans ce cas une erreur : les émissions (en unités de masse de polluants - le gramme par exemple) sont ceux que rejettent des véhicules, ou des industries tandis que la concentration de masse (en unités de masse de polluants par rapport à une unité de volume - le gramme par mètre cube par exemple) est ce que l'on respire réellement, et dont la source peut être certes le rejet des véhicules ou des industries polluantes, mais aussi des facteurs tels que les couloirs de vent, la météorologie et surtout les réactions des polluants avec d'autres molécules présentes dans l'atmosphère, qui empêchent toute pertinence dans une relation linéaire entre *émissions* et *concentrations* de polluants. Par conséquent, les résultats auxquels aboutit l'auteur sont, à notre avis, biaisés par cette erreur, et renforcent l'hypothèse selon laquelle ils ne doivent être considérés que comme des *ordres de grandeur*.

Jusqu'à quand évaluer ?

Le choix de la durée d'évaluation de la mesure publique de remplacement accéléré des bus de la ville-île de Hong-Kong est choisi en fonction des caractéristiques propres aux bus, et non pas en fonction des effets identifiés par l'analyse. Il s'agit même d'un choix doublement *ex-ante*, en ce sens que l'évaluation *ex-ante* de la politique publique (nécessaire *a fortiori* puisque la mesure est une politique publique proposée par l'auteur aux lecteurs et sans doute à terme aux décideurs) est elle-même précédée d'un choix *ex-ante* de la durée d'évaluation. En effet, l'auteur propose une analyse en trois étapes :

- une période 2013-2015, qui correspond au retrait des bus de norme *Euro I*¹⁵ dû à l'obsolescence de la flotte de bus correspondante ;
- une période 2016-2019, qui correspond au retrait des bus de norme *Euro II* dû à l'obsolescence de ce parc de bus ;

15. L'article a été publié en 2013.

- une période 2020-2026, qui correspond au retrait des bus de norme *Euro III* dû à l’obsolescence du parc des bus correspondants.

Le choix des trois périodes permet ainsi à l’analyste de façonner un scénario de référence - parfois appelé scénario au fil de l’eau (voir section 7.3) - à partir duquel il lui sera possible de calculer les émissions de polluants des bus faisant actuellement partie de la flotte de la ville de Hong-Kong, pour ensuite la comparer avec les réductions d’émission (éventuelles) engendrées par le remplacement des trois types de bus précédemment cités par des bus de norme *Euro V*. Cette comparaison entre les deux scénarios est sans doute pertinente pour mettre en évidence la valeur ajoutée des conséquences de la mesure publique, et reflète d’ailleurs les directives théoriques de la façon dont une analyse coûts-bénéfices doit être menée. Cependant, le choix des trois périodes est arrêté et ne correspond aucunement à des effets *réels*, voire relatifs à ce qui est observé sur le territoire en termes d’interactions entre les agents économiques et leurs stratégies. Au contraire, le choix *ex-ante* des périodes d’évaluation formate et donne un cadre artificiel aux interdépendances qui peuvent être créées du fait de la mise en place de cette mesure publique. Ce n’est pas ce choix que nous envisageons dans l’outil d’aide à la décision CoBAYe, pour lequel la durée d’évaluation de chaque effet identifié comme conséquence de la mesure publique est elle-même analysée et choisie en fonction de la rationalité des agents concernés et de l’incertitude qui régit leurs choix. Ce point sera discuté plus en détail dans le Chapitre 5.

La flotte actuelle de bus à Hong-Kong

Dans son évaluation, l’auteur ne procède pas par un décompte précis des bus et des agents à qui ils appartiennent, mais utilise plutôt des ordres de grandeur : ainsi les catégories retenues sont les bus franchisés, les bus non-franchisés et les minibus. Cette méthode a l’avantage d’être plus rapide pour procéder à des évaluations quantitatives et ensuite monétaires mais, en revanche, elle ne permet pas de rendre compte des catégories de la population qui seraient les plus touchées par cette mesure, les données les plus fines disponibles étant inexistantes ou sujettes à enquêtes.

Une analyse de sensibilité

L'auteur termine son évaluation économique par une analyse de sensibilité en comparant les résultats en fonction de la variation de trois grandeurs : le taux d'actualisation, les valeurs de la vie statistique et le prix des bus. Cette étape est importante et nécessaire dans toute démarche d'évaluation car elle permet de mieux représenter les résultats en fonction des hypothèses prises et surtout de savoir évaluer la robustesse de certaines d'entre elles. Nous recommandons aussi de faire usage d'une analyse de sensibilité dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe (voir section 7.5.3).

3.4.2 L'analyse coûts-bénéfices de la mise en place du péage environnemental à Milan

Contexte

Une zone de péage environnemental, nommé « *Ecopass* », a été mise en place en janvier 2008 dans la ville de Milan. D'une surface de 8 km^2 à l'intérieur du centre-ville, correspondant à la « *Cerchia dei Bastioni*¹⁶ », la zone a officiellement pour but la réduction des nuisances environnementales urbaines (Agenzia Milanese Mobilità Ambiente, 2002). Pour cela, le péage environnemental définit des conditions de restriction d'accès aux véhicules selon leur *norme Euro*¹⁷. Ainsi, contrairement à une « *Low Emission Zone* » classique, la restriction réglementaire de circulation s'accompagne d'une contrainte économique : les utilisateurs de véhicules particuliers ne sont donc pas interdits de circulation, mais ils peuvent entrer dans la ville de Milan s'ils consentent à payer le tarif fixé par les services de la ville. Nous proposons d'analyser une des évaluations économiques dont a fait l'objet cette politique : réalisée après la mise en place du dispositif « *Ecopass* », l'analyse coûts-bénéfices menée par Rotaris *et al.* (2010) examine les résultats au bout de deux ans d'expérimentation en s'appuyant sur les données observées et sur une précédente évaluation économique *ex-ante* menée en 2002 par l'Agence de la Mobilité de la ville de Milan¹⁸, qui avait permis à l'époque de définir les conditions d'accès à la ville (Agenzia Milanese Mobilità Ambiente, 2002).

16. La « *Cerchia dei Bastioni* » correspond à la surface de $8,2 \text{ km}^2$ au sein de laquelle le dispositif « *Ecopass* » est actif. Elle est en particulier constituée de 43 portes, chacune munie, pour le dispositif, d'une caméra de surveillance.

17. Une présentation des standards de motorisation européens, appelés *normes Euro* est faite en Annexe.

18. « *Agenzia Milanese - Mobilità Ambiente* » en italien.

Hypothèses prises

Quelle durée d'évaluation ?

Même si l'analyse coûts-bénéfices est publiée plus de deux ans après la mise en place du dispositif « *Ecopass* », elle ne s'appuie que sur des données obtenues onze mois après le début de l'expérimentation. Par conséquent, il ne s'agit pas d'une évaluation *ex-ante*, comme dans le cas de Hong-Kong par exemple (voir section 3.4.1), mais bien concomitante à l'évolution du dispositif en question et à son appropriation par les usagers. En particulier, le choix des auteurs n'est donc pas de prévoir quels effets auront lieu dans le futur grâce à la mise en place de « *Ecopass* » mais d'examiner - parmi les effets qu'ils ont choisi de recenser¹⁹ - les coûts et les bénéfices pour la société. Il ne nous sera donc pas possible de déceler la méthode de prise en considération de l'incertitude dans cette CBA étant donné qu'elle ne s'appuie que sur des faits observés pendant les onze premiers mois d'expérimentation.

Quelles hypothèses théoriques ?

Comme dans le cas de nombreuses analyses coûts-bénéfices menées par des praticiens, les fondements théoriques utilisés ne sont pas mentionnés mais restent implicites à l'utilisation de l'outil. Nous passons brièvement en revue quelques-unes de ces hypothèses dans cette section.

L'hypothèse de rationalité parfaite. Les auteurs supposent que les acteurs économiques concernés par le dispositif « *Ecopass* » sont rationnels, dans le but de maximiser leur bien être (Rotaris *et al.*, 2010, p.13), et cette hypothèse leur permet notamment d'attribuer une valeur monétaire à des effets non-marchands identifiés tels que la valeur du temps ou la valeur de l'amélioration de la qualité de l'air grâce à la réduction de gaz à effet de serre (CO_2) ou de polluants atmosphériques (NO_x et PM_{10}).

Une analyse statique. Cette analyse coûts-bénéfices s'intéresse à uniquement onze mois d'expérimentation mais en plus, ne considère pas les effets dus aux activités - publiques ou privées - qui pourraient voir le jour ni à celles qui sont peut-être apparues mais n'étaient pas prises en considération dans l'évaluation économique *ex-ante* menée par les services techniques de la ville

19. Un des intérêts d'analyser cette évaluation économique est justement de recenser les effets que les auteurs de cette CBA ont choisi de prendre en considération.

de Milan (Agenzia Milanese Mobilità Ambiente, 2002). En d'autres termes, la CBA ne tient compte que de l'évolution de phénomènes et d'activités existantes et recensées en 2002 qui, de surcroît, sont uniquement relatifs au secteur routier.

Discussions sur la méthode d'évaluation

Quels effets sont pris en considération ?

Les auteurs identifient, parmi les effets engendrant des coûts et des bénéfices pour la société, les catégories suivantes :

- les effets sur les voitures, les véhicules de transport de marchandises et les taxis ;
- les effets sur les bus ;
- les reports de trafic ;
- les coûts sociaux (entendus par les auteurs comme les accidents de la route et les effets du péage environnemental sur la concentration de CO_2 , de NO_x et de PM_{10} ;
- les effets sur les administrations locales (la ville de Milan), régionales (la Région lombarde) et nationales, c'est-à-dire les taxes sur le carburant, la TVA, les recettes des péages et des aires de stationnement, ainsi que le coût de la mise en place de l'infrastructure ;
- enfin les revenus nets privés engendrés par les recettes d'aires de stationnement du secteur privé.

Quelle prise en compte des interdépendances ? Parmi les effets identifiés et recherchés par les auteurs, seuls deux secteurs sont mis en valeur :

1. d'une part, celui du transport routier, avec les coûts et les bénéfices recensés sur les achats et ventes de véhicules, sur les reports de trafic en termes de temps perdu (ou gagné), sur l'évolution des accidents de la route, sur les taxes et recettes des services publics et sur les recettes des aires de stationnement ;
2. enfin, d'autre part, le secteur de la pollution (avec les évolutions des polluants atmosphériques NO_x et de PM_{10} et du gaz à effet de serre CO_2), pour peu qu'on puisse le qualifier de secteur, ces caractéristiques étant directement induites par les effets sur le secteur routier.

Par conséquent, les seuls effets pris en considération par les auteurs dans cette analyse coûts-bénéfices à onze mois correspondent exactement aux objectifs officiels que s'étaient fixés les

services techniques de la ville de Milan dans leur justification de mise en place d'une zone de restriction de circulation automobile à Milan huit ans plus tôt (Agenzia Milanese Mobilità Ambiente, 2002). Ces effets seront appelés *effets directs* dans la méthodologie de l'outil d'aide à la décision CoBAYe, présentée en section 4.6.2.

En particulier, parmi les effets recherchés par Rotaris *et al.* (2010), on ne retrouve par exemple pas de conséquences sur les commerces existants : le secteur alimentaire du centre-ville pâtit-il du dispositif ou au contraire bénéficie-t-il plus d'un regain d'intérêt de la part des Milanais et touristes ? Les marchés et supermarchés ont-ils plus de difficultés à être approvisionnés ? La vie culturelle, à travers, par exemple, les opéras, théâtres et musées du centre-ville de Milan est-elle affectée, positivement ou négativement ? Et quand bien même ces centres d'intérêt ne subissent que de légères variations dans l'évolution de leurs recettes ou de leur logistique, n'est-il pas nécessaire d'en faire part au lecteur, ou au moins de citer dans les hypothèses de l'étude les variables qui seront négligées ?

De même, les conséquences du dispositif « *Ecopass* » sur les infrastructures lourdes existantes sillonnant la ville de Milan ne sont pas mentionnées. Pourtant, en plus des nombreuses lignes de bus (évoquées dans l'étude), il existe en effet deux gares ferroviaires intra-urbaines, ainsi que trois lignes de métro et dix-huit lignes de tramway urbain qui parcourent la ville de Milan. Il semble légitime d'imaginer *a priori* qu'une politique de restriction de la circulation automobile en ville aurait des conséquences sur les infrastructures de transport public existantes ou sur leur fréquentation, pourtant ce point n'est ni étudié ni même mentionné dans l'étude.

Les conséquences du dispositif « *Ecopass* » dans la zone délimitée par la « *Cerchia dei Bastioni* » elle-même, mais aussi dans ses quartiers connexes, sur la vie de ceux qui pratiquent le territoire, qu'ils soient habitants, employés, touristes, commerçants, ou même de passage, n'est pas étudiée ni non plus mentionnée. Pourtant, les centres-villes italiens sont un lieu de vie très densément utilisé, d'autant plus depuis l'instauration des « *Zona a Traffico Limitato* » en Italie depuis les années 1980, ces zones de restriction de circulation automobile dans le centre-ville pour des raisons de protection du patrimoine culturel existant.

Un dernier élément de cette méthode d'évaluation est à retenir : ces effets susmentionnés correspondent à des interdépendances déjà existantes entre le secteur routier (sur lequel agit la mesure publique « *Ecopass* ») et les secteurs du transport public, du commerce ou du logement pour ne citer qu'eux par exemple. Nous pensons que ces effets doivent être pris en considération dans une évaluation économique d'une mesure publique aussi transversale, et c'est ce que nous souhaitons proposer à travers la méthodologie de l'outil d'aide à la décision CoBAYe (voir section 4.6.2).

Une dynamique d'effets ? En outre, la liste des effets pris en considération par les auteurs reflète une analyse purement statique, sans prise en compte de la dynamique d'effets qui peut être créée grâce au dispositif « *Ecopass* ». Certes, l'hypothèse affichée d'analyse des effets sur seuls onze mois d'expérimentation laisse transparaître et semble même justifier une prise en considération des effets visibles uniquement, et pour lesquels les auteurs ont des données disponibles. Pourtant, il n'est pas forcément nécessaire de mener une analyse *ex-ante* pour mettre en évidence la dynamique d'effets engendrés par une mesure publique : on peut par exemple imaginer un développement d'activités de promotion du dispositif « *Ecopass* », un développement d'une activité publique de surveillance et de contrôle des infractions au dispositif, mais aussi un intérêt croissant de l'usage du vélo en ville, une nouvelle optimisation de trajets pour les transporteurs de marchandises souhaitant desservir la « *Cerchia dei Bastioni* », ou d'autres activités privées de promotion d'un usage plus réfléchi du véhicule particulier, comme des entreprises de covoiturage ou d'autopartage par exemple. Tous ces effets font partie de ce que nous appelons des effets induits²⁰ et nous pensons que leur identification et leur prise en considération sont essentielles à la visibilité des conséquences d'une mesure publique pour le décideur. C'est d'ailleurs ce que nous proposons dans la méthodologie d'identification des effets de l'outil d'aide à la décision CoBAYe (voir le Chapitre 4 et en particulier la section 4.6).

20. Le terme est défini très précisément en section 4.6.2.

3.4.3 L'analyse coûts-bénéfices du péage de Stockholm

Contexte

Le péage de Stockholm²¹ a été mis en place pendant sept mois entre janvier et juillet 2006 à l'occasion d'un dispositif expérimental, avec pour objectifs affichés d'une part la réduction de la congestion et d'autre part l'amélioration de la qualité de l'air urbaine. À l'issue de cette expérimentation, les habitants de Stockholm ont alors été en mesure de voter par référendum son prolongement, ce qui a eu pour conséquence la mise en place d'un péage de cordon dans la capitale suédoise à partir d'août 2007 : aujourd'hui la zone soumise au péage comprend tout le centre-ville de Stockholm. Plusieurs évaluations ont été réalisées sur la mise en place de ce dispositif, notamment une analyse de l'équité d'un péage (Eliasson et Mattsson, 2006), une analyse coûts-avantages du dispositif (Eliasson, 2009) et une analyse des effets observés cinq ans plus tard (Börjesson *et al.*, 2012a). Ce sont en particulier ces deux dernières que nous souhaitons analyser dans cette section.

Hypothèses retenues pour l'analyse coûts-bénéfices du péage

Hypothèses nécessaires pour les calculs

Eliasson (2009) fait les hypothèses suivantes pour mener l'analyse coûts-avantages du péage de Stockholm :

- La CBA repose principalement sur des données mesurées, et non sur des résultats issus d'un modèle.
- La CBA fait l'hypothèse que les facteurs qui affectent le trafic découlent uniquement de la mise en œuvre du péage de Stockholm et ne sont pas relatifs à d'autres contingences du secteur routier. Toutefois, en faisant une régression linéaire sur les variables explicatives de la baisse du trafic sur 20 ans, l'auteur identifie que les variables-clés expliquant la réduction du trafic - c'est-à-dire le prix du carburant, le nombre de personnes au chômage et le taux de possession du véhicule - ne sont responsables qu'à 1 % de la réduction du trafic sur la période de l'expérimentation, et conclut ainsi que tout autre effet que le péage est négligeable quant aux effets sur le trafic (Eliasson, 2009).

21. « *Trängselskatt i Stockholm* » en suédois.

- Les effets pris en compte ne sont que des effets à court terme, car l'analyse a été réalisée en 2008, deux ans seulement après la mise en place de l'expérimentation. Nous n'avons toutefois pas de garantie que les effets mesurés à court terme soient pérennisés lorsqu'il s'agit d'identifier les effets à long terme, c'est-à-dire que les effets à court terme peuvent disparaître ou être négligeables devant des effets à plus long terme. En particulier, il peut exister un « effet d'acclimatation » signifiant que, à mesure que le temps passe, l'effet contraignant du péage peut devenir beaucoup moins important. Par ailleurs, une diminution à court terme du trafic engendre une incitation à prendre la voiture pour des agents économiques anciennement piétons ou adeptes des transports publics, et peut donner des résultats à long terme bien différents de ceux à court terme.

Hypothèses économiques théoriques

Les hypothèses économiques théoriques de la CBA menée par Eliasson (2009) sont implicites et nous avons tenté de les identifier grâce à l'interprétation des effets identifiés par l'auteur.

L'hypothèse de rationalité parfaite. L'hypothèse d'une incitation à prendre la voiture à long terme en ayant perçu au préalable une diminution du trafic à court terme reflète une volonté de l'individu de satisfaire son propre intérêt, sans pour autant faire valoir une conscience collective environnementale. L'hypothèse de l'agent économique *homo economicus* est donc implicite à cette CBA.

La méthode du surplus du consommateur. L'auteur utilise explicitement des concepts issus de l'économie du bien-être pour calculer des biens non-marchands, dont par exemple la méthode du surplus du consommateur pour calculer les coûts et les bénéfices associés aux temps de trajet augmentés ou réduits respectivement (Neuberger, 1971).

Une analyse statique. La CBA met en évidence uniquement des effets liés au secteur routier se produisant pendant la période d'évaluation. Aucun effet n'est envisagé dans un autre secteur, et aucune hypothèse n'est faite sur la propagation de certains effets, à travers la création d'activités - publiques ou privées - dans le futur grâce à la mise en place de ce péage urbain.

Discussions sur la méthode d'évaluation

Quels effets sont pris en considération ?

L'auteur présente un classement exhaustif des coûts et des bénéfices qu'il cherche à évaluer :

- (a) **Les coûts d'investissement et de mise en opération**, c'est-à-dire tous les coûts antérieurs à la mise en place du péage ainsi que ceux réalisés pendant la phase d'expérimentation, comme ceux liés au placement des panneaux de signalisation, aux investissements et à l'entretien des moyens de surveillance et de contrôle, mais aussi les coûts variables liés au développement du système dans son sens le plus global, *i.e.* les coûts d'éducation et de formation du personnel, de tests du système, ou encore d'information du public.
- (b) **les coûts de déplacements et de temps associé**, liés aux flux de trafic engendrés par la mise en œuvre du péage et les temps de trajet qui en découlent ; les temps de trajet plus courts étant comptés comme des bénéfices.
- (c) **les « externalités »**, entendues comme les réductions d'émissions de gaz à effet de serre, les effets sur la santé et l'environnement ainsi que l'augmentation de la sécurité routière ;
- (d) **les paiements des droits d'entrée**, considérés comme des coûts pour les utilisateurs de véhicules et comme des recettes pour les entités publiques ;
- (e) **la capacité d'accueil des transports publics**, qui diminue du fait d'un report de certains utilisateurs de véhicules particuliers vers les transports publics (notamment les bus) ;

Les effets pris en considération par l'auteur dans l'analyse coûts-bénéfices du péage de Stockholm ne sont par conséquent que relatifs au secteur routier et aux objectifs affichés par la ville de Stockholm avant la mise en œuvre du dispositif. En particulier, comme dans le cas de Milan, des effets sur d'autres secteurs tels que le commerce, le logement, la vie de quartier, ou encore le transport de marchandises sont absents de l'évaluation ; et il en est malheureusement de même pour les effets relatifs à une analyse plus dynamique du système : aucune mention n'est faite de mesures publiques d'accompagnement ou d'extension du dispositif dans le futur, ni de développement éventuel d'activités privées, qu'elles soient commerciales ou en faveur de la réduction automobile (comme le développement de l'autopartage ou du covoiturage par exemple) ni encore des aménagements urbains découlant de cette mouvance écologique, comme

la construction de l'écoquartier « *Hammarby Sjöstad* » au sud de la ville par exemple. Ces effets susmentionnés absents, que nous appelons respectivement effets indirects et induits, font partie de la typologie d'identification des effets de l'outil d'aide à la décision CoBAYe, que nous présentons en section 4.6.2.

Les effets identifiés cinq ans après la mise en place d'un péage permanent. Börjesson *et al.* (2012a) identifient des effets du péage de cordon de Stockholm cinq ans après sa mise en œuvre. Quelle comparaison est possible avec ceux identifiés par Eliasson (2009) ?

- Les mesures de flux de trafic effectuées pendant cinq ans montrent que l'élasticité-prix diminue pour le souhait de vouloir entrer à Stockholm, c'est-à-dire que les utilisateurs de véhicules sont de moins en moins averses à la taxe d'entrée en ville. Ce résultat peut être perçu comme un effet d'adaptation (ou « effet d'acclimatation » pour reprendre les termes de l'auteur) de la mesure publique, mais doit aussi être modéré avec la prise en considération de l'inflation (qui rend la contrainte réelle de la taxe inférieure à ce qu'elle était en 2007) et de la croissance démographique (qui signifierait que l'augmentation des trajets en ville n'est pas forcément due à une augmentation dans le consentement à payer mais à un volume plus important d'utilisateurs de véhicules).
- L'analyse des effets montre aussi une augmentation du nombre de déménagements et de changements d'emplois, influant évidemment au moins sur l'origine ou la destination des trajets des utilisateurs de véhicules. Bien sûr, rien ne garantit que ces changements sont le fait uniquement de l'instauration du péage urbain, mais ils expliquent probablement également en partie pourquoi les volumes de trajets sont différents entre le court terme et le long terme.
- La durée d'opération du péage de Stockholm est concomitante avec une recrudescence d'achat de « véhicules propres », roulant avec un « carburant alternatif », c'est-à-dire des véhicules roulant à l'éthanol ou au biogas, des véhicules hybrides ou des véhicules électriques. De plus, une corrélation positive peut sans doute exister entre cette augmentation d'achats et la mise en œuvre du péage, puisque les véhicules roulant avec un « carburant alternatif » sont exemptés de paiement lors du passage au péage de cordon.

Une justification de la nécessité d'envisager des effets induits. Les trois précédentes remarques mettent en évidence des effets que l'on aperçoit dans le long terme alors qu'ils ne faisaient pas partie de l'évaluation à court terme. Il est important dans ce cas de se poser la question de l'absence de ces effets dans l'analyse coûts-bénéfices initiale de 2009. Que ce soient la croissance démographique, les déménagements, les changements de lieu de travail ou l'achat de véhicules électriques ou labellisés « non-polluants », il s'agit d'effets qui sont engendrés par la mise en place du péage de Stockholm. Le territoire reçoit ainsi une caractéristique (ici, le fait de devoir payer pour rentrer en ville) qui lui devient propre et qui contribue à changer les comportements des agents économiques qui le composent : il devient donc une cause de changement et c'est pourquoi nous proposons le nom d'« effets induits » à ces changements. La comparaison des analyses menées par Eliasson (2009) et Börjesson *et al.* (2012a) montre justement que dans la première analyse, la CBA ne fait pas mention d'effets qui pourtant, sont bien présents dans la seconde. Or, la connaissance de ces effets peut être nécessaire au décideur avant qu'il fasse ses choix, ne serait-ce que pour prévoir un accompagnement de sa mesure publique ou anticiper une réaction des acteurs privés de son territoire. Il nous paraît donc important de les mettre en valeur, au moins par leur identification si le fait de les quantifier - et de surcroît de leur attribuer une valeur monétaire - est une tâche ardue. Pourquoi ne pas tenir compte de ces effets - sectoriels ou systémiques - en première analyse ? Une des raisons évoquées est l'incertitude associée à l'occurrence effective de ces effets mais, dans ce cas, faut-il omettre une information sous prétexte que sa réalisation est incertaine ? L'analyse coûts-bénéfices, telle que menée par les praticiens, semble aller dans cette voie et ne s'intéresse soit qu'aux effets sectoriels de la mesure publique en question, soit qu'aux effets pour lesquels une mesure est disponible. Les autres conséquences sont laissées de côté, alors qu'elles peuvent être des critères importants dans la prise de décision. Pour cela, nous proposons dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe une méthode qui, d'une part, permet d'identifier des effets systémiques - en adéquation avec de telles politiques publiques - et, d'autre part, propose une prise en considération de l'incertitude, notamment pour les effets dont les mesures ne sont pas immédiates, comme certains des effets induits²².

22. Ces propositions sont détaillées en section 4.6.2.

3.4.4 L'analyse coûts-bénéfices du péage de Londres

Contexte

Le péage de Londres a été mis en place en 2003, à l'initiative du Maire de Londres Ken Livingstone, et largement accepté par ses habitants. La zone de péage a une surface de 22 km^2 , relativement petite toutefois par rapport à l'aire du « *Greater London Area* » (1,5 %) et a été choisie dans le centre-ville, plus particulièrement le quartier de la « *City* » de Londres qui comprend 370 000 habitants et 1,2 millions d'emplois. Les modalités sont les suivantes : depuis février 2003, les chauffeurs des véhicules qui souhaitent entrer dans cette zone doivent s'acquitter de 5 livres par jour s'ils effectuent ce déplacement entre 7h30 et 18h30. Cette section étudiera trois analyses coûts-bénéfices menées en même temps que la mise en œuvre de la zone de péage. La CBA de Banister (2003) met en évidence les différentes contraintes qu'avaient à l'esprit les décideurs lors du choix d'instauration du péage. Les effets qu'il prend en compte sont notamment présentés. Peu après, les analyses coûts-bénéfices de Santos et Shaffer (2004) et de Prud'homme et Bocarejo (2005) mettent en évidence une typologie d'effets qui diffère peu de la première.

Hypothèses retenues pour l'analyse coûts-bénéfices

Hypothèses théoriques

Bien que implicites, les hypothèses théoriques des trois analyses coûts-bénéfices font écho aux hypothèses sous-jacentes à l'analyse coûts-bénéfices et à la théorie néoclassique dans son sens le plus large. On retrouve par exemple :

- **L'hypothèse de rationalité parfaite et l'absence d'externalités.** Pour Santos et Shaffer (2004), un utilisateur potentiel prend la décision d'utiliser son véhicule personnel en comparant ses coûts et ses bénéfices marginaux privés. Ainsi, cet agent économique exclut de son analyse tout effet externe que ses actions peuvent imposer sur d'autres agents. Le péage est alors une taxe pigouvienne pour remédier à ce problème et prendre en compte les externalités (Pigou, 1932) ;
- **La maximisation des surplus.** De la même façon, Prud'homme et Bocarejo (2005) considèrent que les consommateurs (ici, les utilisateurs de véhicules particuliers) cherchent

- à maximiser leur surplus et fondent leur analyse et le calcul des coûts et des bénéfices sur ce concept ;
- **La maximisation de l'utilité espérée.** Ainsi, dans les deux précédentes analyses, Santos et Shaffer (2004) et Prud'homme et Bocarejo (2005) proposent des analyses fondées sur le calcul des coûts et des bénéfices marginaux de chaque agent économique rationnel, et anticipent leur comportement en faisant l'hypothèse qu'ils feront le choix qui maximise la valeur espérée de leur utilité ;
 - **Une analyse sectorielle.** Enfin, que ce soit pour les services techniques de la Mairie de Londres (Transport for London, 2002) ou les analyses coûts-bénéfices qui ont été publiées peu après, Banister (2003), Santos et Shaffer (2004) et Prud'homme et Bocarejo (2005) ne font apparaître dans leur évaluation que des effets sur le seul secteur des transports²³. Parfois, les implications sur l'environnement sont évoquées, mais uniquement comme moyen de trouver une valorisation monétaire aux réductions des émissions de polluants.

Discussions sur les méthodes d'évaluation

L'analyse coûts-bénéfices menée par Banister (2003) met en évidence uniquement des effets liés aux recettes engendrées par les paiements des utilisateurs de véhicules particuliers, de véhicules utilitaires légers et de poids lourds, en fonction des prix pour chaque catégorie de véhicules. Les effets correspondent donc *stricto sensu* aux objectifs premiers de la mesure publique, à savoir diminuer la congestion urbaine en centre-ville. Aucun effet sur d'autres secteurs n'est envisagé, et encore moins des effets dynamiques. Par ailleurs, aucune incertitude n'est prise en compte et les calculs sont menés sur la période allant de 2004 à 2013 (les dix premières années) sans justification. La première analyse coûts-bénéfices du péage de Londres, menée par les services techniques de la capitale, fait d'ailleurs aussi apparaître cette restriction dans les effets et le choix de cette même période sans autre argument (Transport for London, 2002). Les analyses qui ont suivi dans les premières années n'ont toutefois pas été plus entrepreneurantes en termes de recherche d'effets. Ainsi, les effets qu'envisagent Santos et Shaffer (2004) sont les suivants :

- coûts de mise en place de la zone pour « *Transport for London* » ;
- coûts d'entretien ;

23. Le paragraphe suivant détaille davantage cette assertion.

- report modal pour certains utilisateurs de véhicules légers qui empruntent dorénavant les transports publics et réciproquement également (du fait d'une plus grande fluidité du trafic) ;
- gains de temps pour les occupants de véhicules légers, de taxis, de bus et de véhicules utilitaires ;
- augmentation de la fiabilité d'un trajet en véhicules légers, taxis, bus et véhicules utilitaires ;
- économies d'achat de carburant ;
- réduction du nombre d'accidents de la route.

À ceux-là, Prud'homme et Bocarejo (2005) ajoutent uniquement la prise en compte de bénéfices environnementaux du fait de la réduction de gaz à effet de serre (CO_2). Ces analyses coûts-bénéfices omettent donc, comme dans le cas de Milan²⁴ et de Stockholm²⁵, la prise en considération d'effets sur d'autres secteurs, et surtout de la propagation des effets dans une perspective d'analyse plus dynamique. Par ailleurs, comme dans le cas de l'analyse de la politique de renouvellement accéléré de la flotte des bus à Hong-Kong²⁶, l'horizon temporel d'évaluation des effets est soit implicite (c'est-à-dire que les calculs sont présentés comme des « coûts annuels » ou des « bénéfices annuels » sans précision du moment de fin de l'évaluation), soit une durée choisie arbitrairement (dix ans dans le cas des analyses *ex-ante* du péage de Londres (Transport for London, 2002) et de la politique de renouvellement des bus à Hong-Kong (Leung, 2013)). Nous proposons en Partie II une nouvelle méthode d'évaluation qui, à la fois :

- prend en compte une diversité d'effets de la mesure publique, qui nous semblent être des informations nécessaires pour faciliter le choix du décideur,
- et s'intéresse également à une façon d'envisager l'horizon temporel de l'évaluation de chaque effet comme une composante endogène au processus de décision de la mesure publique et aux acteurs qui en sont concernés.

24. Une analyse est faite en section 3.4.2.

25. Une analyse est présentée en section 3.4.3

26. Une analyse est proposée en section 3.4.1.

3.5 Conclusion

Ce chapitre a montré des différences entre les CBA réalisées dans la pratique par rapport à la théorie sous-jacente à l'évaluation économique. En particulier, les points suivants ont été mis en évidence :

1. Tout d'abord, comme on pouvait le supposer avec les modalités des politiques publiques dont il a été question dans les exemples précédents, ce sont les institutions publiques qui allaient certainement assumer tous les coûts de mise en œuvre, sans *a priori* rien gagner ; les bénéficiaires étant les entreprises de construction des infrastructures routières (Reilly, 2007), les entreprises de bus (Leung, 2013) ou plus généralement les utilisateurs et habitants des territoires considérés (Rotaris *et al.*, 2010). Cependant, dans une analyse coûts-bénéfices sociale, les bénéfices et coûts ainsi identifiés sont équilibrés dans le calcul du « *net social benefit* », et les résultats ne permettent pas de rendre compte de l'identité des bénéficiaires ou des perdants de la politique publique, ni surtout de l'ampleur du changement structurel éventuel de la production, s'il a lieu. En privilégiant une approche d'aide à la décision, l'outil CoBAYe propose plutôt d'identifier à la fois les acteurs concernés par la politique, leurs anticipations et comportements, ainsi que les bénéfices et coûts correspondants et incombant à chacune de ces parties prenantes.
2. Deuxièmement, les « effets indirects », tels que définis par Eijgenraam *et al.* (2000), doivent de toute évidence être envisagés, étant donné que ce type de politique publique peut engendrer des effets plus larges sur l'économie dans son ensemble, par exemple dans les secteurs de la santé, du logement, de l'industrie, de l'énergie, de la logistique urbaine ou encore du commerce pour ne citer que ceux-ci. Cependant, l'identification de ces effets n'est pas facile. Nous proposons à travers l'outil CoBAYe une amélioration de la pratique de cette identification (section 4.6.2).
3. Troisièmement, les politiques publiques dont ont fait l'objet les CBA présentées dans les sections précédentes changent la structure du territoire sur lequel elles sont appliquées, mais la CBA ne permet pas de montrer ce changement (et pour cause, puisque ce n'est pas son objectif). Néanmoins, nous pensons que l'identification précise des perdants et des bénéficiaires de ces politiques publiques peuvent aider à la prise de décision, puisque

chacun de ces acteurs peut avoir une stratégie sur les nouveaux marchés, voire même sur les secteurs d'activité créés par la politique publique en question. En ayant connaissance de ces informations, le décideur serait par conséquent en mesure d'anticiper ces stratégies et d'envisager la mise en œuvre et le développement de politiques publiques futures, ou de mesures d'accompagnement appropriées. En outre, les entreprises privées pourraient également faire des anticipations en fonction de la nouvelle structure économique du territoire et modifier leurs stratégies de marché. Ces arguments sont détaillés dans la section 6.2.3, lors de la description de l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

4. Par ailleurs, des « effets externes » tels que définis par Eijgenraam *et al.* (2000), sont considérés dans les CBA précédentes (des bénéfiques en termes de santé publique, par exemple), qu'il soit possible de leur attribuer une valeur monétaire ou non. De façon plus générale, l'outil d'aide à la décision CoBAYe propose également un moyen menant, dans la mesure du possible, à l'exhaustivité dans l'identification des effets qui peuvent être engendrés par l'application de la politique, indépendamment de la faisabilité technique de leur valorisation monétaire. En effet, nous pensons que, même quand il n'est pas possible d'attribuer une valeur monétaire à un effet, un outil d'aide à la décision fondé sur une vision positive de l'économie d'un territoire devrait permettre une description et une compréhension des contingences et interdépendances entre acteurs de ce territoire. Par conséquent, l'identification de tous les effets d'une politique publique concernant les différents acteurs économiques de la ville, à la fois publics et privés, nous semble pertinente, eu égard au fait que c'est cette identification qui peut effectivement permettre au décideur d'anticiper les comportements et réactions des acteurs de son territoire et appuyer ses décisions.
5. Enfin, l'analyse coûts-bénéfices telle qu'elle est réalisée actuellement évalue une politique publique sur une période liée aux caractéristiques financières et technologiques de l'objet étudié : une période d'exploitation de l'infrastructure (Boîteux, 2001), une période définie en fonction de la disponibilité des données (Praznocy, 2012), une période choisie arbitrairement (Chevasson, 2007; Cabanne, 2010), ou une période correspondant à celle dictée par les programmes institutionnels à des niveaux territoriaux supérieurs (Praznocy, 2012) par exemple. Toutes ces approches envisagent l'évaluation des effets d'une politique publique

jusqu'à un horizon temporel qui est défini de façon exogène à cette politique. Nous pensons au contraire que chaque effet possède sa propre durée d'évaluation, et que celle-ci peut être déterminée de façon endogène au processus d'évaluation : nous proposons pour cela une méthode pour son intégration dans le Chapitre 5.

Conclusion de la première partie : la
nécessité de développer l'outil
CoBAYe

L'objectif de la Partie I a été de poser, du plus général au plus spécifique, les bases théoriques nécessaires avant la présentation, aussi bien théorique que pratique, de l'outil CoBAYe. En particulier, la démarche de présentation a souhaité mettre en avant les principes fondamentaux de la discipline que peut constituer à elle seule l'aide à la décision, avant de restreindre l'étude à une technique spécifique : l'analyse coûts-bénéfices (CBA), largement utilisée pour l'évaluation économique de décisions publiques notamment relatives au transport, à la mobilité et à l'environnement.

Pour cela, le Chapitre 1 peut être perçu comme des pages introductives sur l'aide à la décision, à travers la présentation de son historique dans ses divers sous-domaines, de ses différentes approches et des principes fondamentaux sous-jacents à la majorité des outils d'aide à la décision classiques usuels. En particulier, le rappel sur la distinction entre *risque* et *incertitude* et les éléments théoriques présentés sur l'aide à la décision en l'absence d'incertitude servent à aborder le Chapitre 2 avec tous les pré-requis nécessaires.

Les Chapitres 2 et 3 restreignent ainsi la présentation de la théorie de l'aide à la décision à un outil en particulier : l'analyse coûts-bénéfices. Destinés à être lus de manière successive, le Chapitre 2 développe les débats et questionnements soulevés par les théoriciens de la discipline une fois que l'application de cet outil a pris de l'ampleur dans les années 1980 aux Etats-Unis. La présentation de ce chapitre est structurée de façon linéaire pour un analyste, c'est-à-dire qu'une discussion théorique est présentée pour chaque étape de la réalisation d'une CBA. En particulier, cette démarche permet de mettre en évidence des questionnements « en amont » et « en aval » de la réalisation d'une CBA : les premiers sont relatifs à la nature des principes théoriques ou éthiques fondateurs de l'outil et les seconds traitent du cas particulier de la valorisation monétaire des conséquences de la décision publique. Cette dernière technique, revendiquée pour son efficacité pour la comparaison de plusieurs options de décision, a en revanche des limites liées à l'attribution d'une valeur monétaire, voire même parfois d'une simple valeur quantifiée, aux biens et services non-marchands. C'est pour cette raison que son utilisation dans l'outil CoBAYe est sujette à un traitement particulier et optionnel, comme le détaille la section 7.6.

Enfin, le Chapitre 2 montre qu'il n'existe pas de limite théorique à la prise en considération exhaustive des conséquences d'une décision, publique ou privée. Toutefois, sa réalisation pratique n'est que très rarement assurée, en particulier dans les secteurs de la mobilité et de l'amélioration de la qualité de l'air. En effet, le Chapitre 3 démontre, au moyen :

- (a) d'une étude sur un peu plus d'une cinquantaine de CBA pratiquées dans les secteurs de la mobilité et de l'amélioration de la qualité de l'air au cours des vingt dernières années ;
- (b) d'une étude plus précise de quatre guides institutionnels destinés à orienter un analyste sur la meilleure façon de réaliser une CBA ;
- (c) et d'une étude plus fine sur quatre décisions publiques d'amélioration de la qualité de l'air dans quatre territoires différents, que :
 - (i) très peu de ces CBA tiennent compte des conséquences sur d'autres secteurs que celui qui correspond à l'objectif de la décision publique ;
 - (ii) un nombre encore plus restreint de ces CBA s'intéressent à la dynamique de ces conséquences, et notamment à la propagation des effets sur plusieurs horizons temporels différents ;
 - (iii) et, enfin, aucune de ces CBA ne considère l'incertitude liée à la décision publique comme un critère endogène à la réalisation même de l'analyse : les évaluations sont menées sur des horizons temporels choisis de façon exogène au processus de décision, le plus souvent liés aux contraintes infrastructurelles ou politiques caractérisant ces décisions.

C'est cette différence entre la théorie et la pratique usuelle de l'analyse coûts-bénéfices, pour des décisions publiques de mobilité et d'amélioration de la qualité de l'air, qui nous a interpellés et qui a suscité la volonté de créer un autre outil d'aide à la décision, dont une inspiration partielle repose sur la démarche de l'analyse coûts-bénéfices, mais dont les autres fondements théoriques sont exposés en Partie II. Ainsi, l'objectif des Parties II et III est de présenter un outil d'aide à la décision qui puisse tenir compte :

- des conséquences de politiques intersectorielles et systémiques, notamment à travers la prise en considération des interdépendances entre les politiques publiques et les stratégies privées après une décision publique ;
- de la dynamique des anticipations, comportements et actions des différents agents concernés par la mise en œuvre de la politique publique ;

— et, enfin, des sources d'incertitude qui caractérisent toute prise de décision et toute évaluation économique *ex-ante* de ces décisions, en envisageant cette incertitude comme une composante endogène du processus d'aide à la décision.

Deuxième partie

L'outil d'aide à la décision CoBAYe

Introduction de la deuxième partie

Les résultats du Chapitre 3 (et en particulier ceux du Tableau 3.1) ont mis en évidence au moins trois limites inhérentes à la grande majorité des analyses coûts-bénéfices pratiquées lors de l'évaluation de politiques publiques sur la mobilité et l'amélioration de la qualité de l'air :

1. les effets identifiés au cours de l'évaluation de la politique publique correspondent essentiellement aux objectifs affichés par ladite politique publique et sont, en ce sens, sectoriels uniquement ;
2. ces effets reflètent une analyse statique : aucune propagation des effets n'est généralement envisagée dans la démarche d'évaluation ;
3. et la durée de cette évaluation est toujours définie de façon exogène à la politique publique évaluée, et même souvent de manière arbitraire.

Cependant, nous pensons qu'une politique publique transversale et multisectorielle, telle qu'une politique publique qui agit sur la mobilité pour améliorer la qualité de l'air, a des effets sur plusieurs secteurs qu'il s'agit d'envisager dans une démarche d'évaluation ou d'aide à la décision. Pour cela, et avec pour objectif la construction d'un outil d'aide à la décision qui tienne compte de ces effets d'interdépendance, de l'incertitude qui y est associée et du territoire sur lequel influe la politique publique, il nous paraît important de proposer un processus de décision qui se démarque de l'analyse coûts-bénéfices traditionnelle.

Par conséquent, l'outil d'aide à la décision CoBAYe (**C**ost-**B**enefit **A**nalysis under **I**nterdependences and **u**ncertainty) trouve son inspiration dans des fondements théoriques qui ne reflètent pas tous les hypothèses des modèles de décision collective qui envisagent que l'agent économique est rationnel. En effet, les limites identifiées au Chapitre 3 nous ont amené à nous tourner vers

d'autres sources d'inspirations théoriques présentées partiellement en section 1.5 et plus en détail aux Chapitres 4, 5 et 6.

Un outil ancré dans l'économie positive

Décrire les comportements anticipés et observés

La théorie sous-jacente à l'outil CoBAYe réside dans l'économie positive : son principal objectif est de tenter de décrire les comportements individuels. Certes, il se peut que l'économie positive soit utilisée comme un outil pratique pour l'économie normative, et l'utilisation de l'outil CoBAYe serait sans doute cohérente avec cette assertion mais, pour reprendre une formulation de Robinson et Hammitt (2011) au sujet d'autres processus d'évaluation : l'outil CoBAYe « examine ce que les individus préfèrent (compte tenu de la répartition actuelle des revenus et d'autres conditions de base [et selon la structure économique et territoriale du territoire dans laquelle la politique publique est appliquée²⁷]) et résume les résultats [pour chaque partie prenante] ».

Des *effets* interdépendants

Les effets d'une décision dépendent souvent de beaucoup d'autres décisions prises en parallèle. Une analyse coûts-bénéfices qui s'intéresse à une parmi plusieurs décisions interconnectées peut induire en erreur, à cause des effets des décisions qu'elle ne prend pas en compte. Pour prendre un exemple, une CBA (ou quelconque autre type d'analyse) portant sur une politique dont le but est d'optimiser le réseau de trafic routier peut engendrer une recommandation sous-optimale, à cause des effets potentiels sur le trafic ferroviaire qui n'auraient pas été pris en compte. Il est possible de remédier à de tels effets de non-inclusion en formant un cadre décisionnel dans de grandes unités de coordination qui couvriraient le plus de secteurs sociaux possibles. Cette tendance a été appelée « *super synopticism* » (Hornstein, 1993). Toutefois, une optimisation à une échelle aussi large ne fonctionne pas toujours correctement, pour des raisons similaires à celles qui rendent une organisation centralisée inefficace.

Sans forcément mettre en place une structure centrale et décisionnelle, on peut effectivement se rendre compte que des limites peuvent apparaître dans les résultats d'une CBA en fonction du

27. Il sera par la suite question de « *structure topo-économique du territoire (STE)* », le terme est défini à la section 6.2.3.

degré de connaissance de l'impact d'une politique publique sur des politiques connexes (voir le Chapitre 3). Ainsi, une politique d'amélioration de la qualité de l'air a des effets sur d'autres politiques, agissant sur des secteurs aussi divers que la santé publique bien sûr, mais aussi le trafic routier, l'industrie ou l'énergie, par exemple. Dans un tel contexte d'interdépendance des politiques publiques et de stratégies privées - qui sont en mesure de voir le jour, de se développer ou de périliter en fonction des autres contingences politiques et privées - il est donc nécessaire qu'un outil d'aide à la décision publique tienne compte de l'enchevêtrement des différentes politiques publiques, tant sectoriel, spatial que temporel. Pour le construire, nous proposons dans le Chapitre 4 de prendre appui à la fois sur des éléments théoriques qui traitent des effets d'interdépendance mais aussi sur des outils pratiques et opérationnels qui ont tenté de les mettre en évidence. Dans une perspective historique, les sections 4.2, 4.3 et 4.4 présenteront les apports théoriques de Quesnay (1758), Walras (1874) et Leontief (1937) respectivement lorsqu'ils prennent en compte les interactions entre différents agents économiques sur des marchés interdépendants. Après une description brève de ces théories, nous verrons quelles sont les inspirations possibles à puiser pour alimenter la construction de l'outil CoBAYe et, en particulier, la typologie d'effets qui permettra d'appuyer l'identification des anticipations de différents agents économiques dans un processus de décision. Par la suite, étant donné que les jeux d'acteurs sont inhérents aux processus d'interdépendances, il nous a semblé important de chercher des éléments de construction dans la théorie des jeux : nous présentons alors différentes configurations de jeux qui peuvent représenter un processus de décision similaire à la prise de décision publique pour améliorer la qualité de l'air, et en déduisons des éléments qui sont importants pour le processus de décision CoBAYe²⁸, en particulier à travers la théorie des jeux psychologiques (Rabin, 1993; Camerer, 2003). Enfin, nous avons choisi de prendre appui également sur deux outils empiriques opérationnels d'évaluation : la prise en compte des « wider economic effects » (Banister et Berechman, 2000) dans une évaluation de projet et la méthode des effets (Grefe, 1997). Dans les deux cas, une description de l'outil est présentée avant d'identifier les caractéristiques utiles pour la construction de CoBAYe (section 4.6.1). Enfin, le Chapitre 4 termine par la présentation de la typologie qui nous semble appropriée pour appréhender les différentes interdépendances qui ont lieu au cours d'un processus de décision et dans un cadre spatio-temporel bien délimité : elle nécessite pour cela

28. La présentation du processus de décision CoBAYe est en section 7.2.

l'identification d'effets directs, indirects, induits et de ce que nous appelons les « *opportunity benefits* » (section 4.6.2).

Un processus de décision ancré dans une situation d'incertitude

Cette démarche d'évaluation peut être extensive, et d'aucuns auraient éventuellement raison de qualifier cette démarche comme étant sans fin. C'est pourquoi, avant de s'interroger sur l'évaluation de ces effets et des acteurs qui sont concernés, il est nécessaire de se demander jusqu'à quel horizon temporel il est pertinent de conduire l'évaluation ; et c'est ce qui fait l'objet du Chapitre 5. Ainsi, après avoir mis en évidence comment l'incertitude est prise en compte dans certaines évaluations aujourd'hui (section 5.2), nous proposons une méthode de construction de scénarios d'évaluation (section 5.3) d'un effet jusqu'à un certain horizon temporel, appelé t^* , et qui représente le moment après lequel son évaluation est trop imprévisible. Les causes de cette imprévisibilité peuvent être nombreuses, et dépendent à la fois de l'environnement qui entoure les acteurs parties prenantes de la décision, mais également leur psychologie propre. La section 5.4 fournit ainsi un détail des différentes sources d'incertitude auxquelles ces individus peuvent faire face dans un processus de décision, que nous avons classées selon quatre types : l'incertitude radicale (Knight, 1921), l'incertitude psychologique « propre » à l'individu (Pratt, 1964; Arrow, 1965), l'incertitude comportementale (March et Simon, 1958; Williamson, 1990) et l'incertitude environnementale (Simon, 1955). Nous pensons que lorsque les acteurs du processus de décision sont soumis à une de ces sources d'incertitude et en fonction de leur ampleur, il peut être préférable d'arrêter le processus d'évaluation plutôt que de le poursuivre au risque d'avoir des résultats peu fiables : la durée d'évaluation est alors déterminée de manière endogène au processus de décision, contrairement à l'analyse coûts-bénéfices.

La formalisation de l'outil CoBAYe

Enfin, le Chapitre 6 fournit une représentation conceptuelle de l'outil CoBAYe présenté précédemment, ce qui a plusieurs objectifs et intérêts, à la fois en termes d'analyse et de résultats, pour traiter des applications développées aux Chapitres 9 et 10, mais également en termes de prospective et de perspectives, puisque nous pensons que la représentation conceptuelle sert également à anticiper de futures actions publiques et aussi à modifier, calibrer ou améliorer

l'outil en fonction de la politique à évaluer (section 6.3)²⁹. Enfin, ce chapitre de présentation des sources d'inspirations de l'outil d'aide à la décision CoBAYe prend fin en mettant l'accent sur la dimension territoriale forte sur laquelle repose l'outil : dans le but de fournir un cadre spatio-temporel d'analyse systémique des interdépendances et des effets engendrés par la mise en place d'une politique publique, nous avons dû créer un mode de représentation du territoire appelé « structure topo-économique » du territoire (section 6.2.3).

29. Une partie de ce chapitre est tirée de Le Goff et Proag (2014a) et de Le Goff et Proag (2014b).

Chapitre 4

Prendre en compte l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées

4.1 Introduction

Une politique publique de mobilité dont l'objectif est l'amélioration de la qualité de l'air a des effets sur plusieurs secteurs à des horizons temporels différents. En effet, par nature, la mobilité d'un agent économique est l'ensemble de ses caractéristiques de déplacement, à la fois techniques (mode de déplacement, distance parcourue, origine-destination, horaires de déplacement...) mais aussi sociales (motif et nature du déplacement, contraintes propres et exogènes...). En particulier, il peut effectuer son déplacement pour des raisons professionnelles, familiales ou encore de loisirs, et relier ainsi des éléments différents de la *structure topo-économique*¹ du territoire en influant sur les actions d'autres agents économiques, publics ou privés. Différents secteurs économiques sont donc mobilisés pour inciter en amont au déplacement et pour satisfaire son utilité en aval. De plus, par des mécanismes d'anticipation et de réaction, d'autres acteurs peuvent voir une opportunité dans la création ou dans l'évolution de leur activité pour attirer la clientèle éventuelle qui fait le déplacement. Nous sommes donc en présence d'une interaction entre différents agents économiques, intersectoriels et à des temps différents ; chaque comportement ou action d'un agent

1. Cette notion est définie très précisément en section 6.2.3.

engendrant des anticipations ou des réactions d'un autre sur des marchés existants, transformés, ou créés du fait de la mise en place de la politique publique initiale d'amélioration de la qualité de l'air. Il nous a donc semblé intéressant de voir à quel point il était possible de s'appuyer sur des travaux précédents existants et formalisant le concept d'interdépendances, ou de s'en inspirer pour les adapter dans la proposition d'un outil d'aide à la décision, dans le but de rendre compte des interactions observées entre les acteurs qui façonnent un territoire.

Pour cela, et avec l'objectif de construire une typologie permettant d'identifier les effets dus à l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées engendrée par la mise en place de la politique publique à évaluer, nous avons cherché des appuis :

- d'une part, dans la théorie mettant en évidence les interdépendances d'acteurs, de marchés et de biens et services comme le Tableau économique de Quesnay (1758) (section 4.2), la théorie de l'équilibre général de Walras (1874) (section 4.3), l'analyse « *input-output* » de Leontief (1937) (section 4.4) et la théorie des jeux (section 4.5) ;
- d'autre part, dans les outils d'évaluation déjà utilisés dans la pratique tels que la prise en compte des « *Wider Economic Effects* » et la méthode des effets (section 4.6.1).

Les sections suivantes présentent donc les éléments qui ont fourni une inspiration à la typologie des effets *directs*, *indirects* et *induits* et à la définition des « *opportunity benefits* » qui sous-tendent le cadre spatio-temporel et la méthode d'évaluation systémique de l'outil d'aide à la décision CoBAYe. Nous présentons par conséquent pour chaque section un bref aperçu des inspirations précédemment citées avant de développer leurs intérêts pour la construction de la méthode d'identification des effets dans CoBAYe, elle-même présentée en section 4.6.2.

4.2 Le *Tableau économique* marque le début de l'étude d'interdépendances en économie

Le Tableau économique est un jalon important dans l'histoire de l'économie et la première tentative de fournir un modèle calculable pour aider le gouvernement dans l'élaboration des politiques. François Quesnay, qui a inventé le Tableau en 1758, a fourni plusieurs versions, à la

fois en équilibre et en déséquilibre, pour tenir compte des nombreux cas et politiques dont il a parlé dans ses écrits économiques (Quesnay, 1758).

4.2.1 Des acteurs

Quesnay divise la société en trois secteurs et trois classes définies selon leur fonction économique :

1. *la classe productive*, c'est-à-dire la classe des agriculteurs qui est le groupe social à l'origine de la production annuelle globale puisque l'agriculture est la source unique de la richesse dans la pensée physiocrate. Les professions considérées sont celles liées au secteur primaire et à la commercialisation de ses produits. Quesnay voyait par exemple une unité microéconomique comme une ferme, composée d'une charrue, quatre chevaux et cent-vingt acres de terres, considérée comme la meilleure technique de production disponible pour les entrepreneurs agricoles, comme l'affirme Cartelier (1998) ;
2. *la classe des propriétaires*, qui est le groupe formé par l'aristocratie, le souverain et le clergé et qui, sans cultiver la terre, s'approprie annuellement le « produit net » sous la forme d'une rente payée par la classe productive. Leur seule fonction est de dépenser la part du revenu qui leur est due, sans produire aucun bien ;
3. et *la classe stérile*, qui est composée de tous les citoyens occupés à d'autres travaux que ceux de l'agriculture, capables uniquement de transformer les biens sans les multiplier. Cette classe comprend tous les artisans, forgerons, boulangers, brasseurs, ou encore bouchers par exemple, c'est-à-dire aujourd'hui tous les métiers du commerce et de l'industrie².

4.2.2 Des interdépendances

La production agricole a été répartie par Quesnay selon le procédé suivant (voir la figure 4.1). Le Tableau fait ressortir une interdépendance générale entre les trois classes sous la forme de lignes les reliant : elles signalent les dépenses mutuelles entre les classes qui ont lieu dans le système économique. On a donc, en décrivant la première partie du Tableau de Quesnay (1758) :

2. C'est notamment de cette classe dont Smith (1776) s'inspirera plus tard pour donner une autre explication du fonctionnement de l'économie à travers le libre marché et sa célèbre *main invisible*.

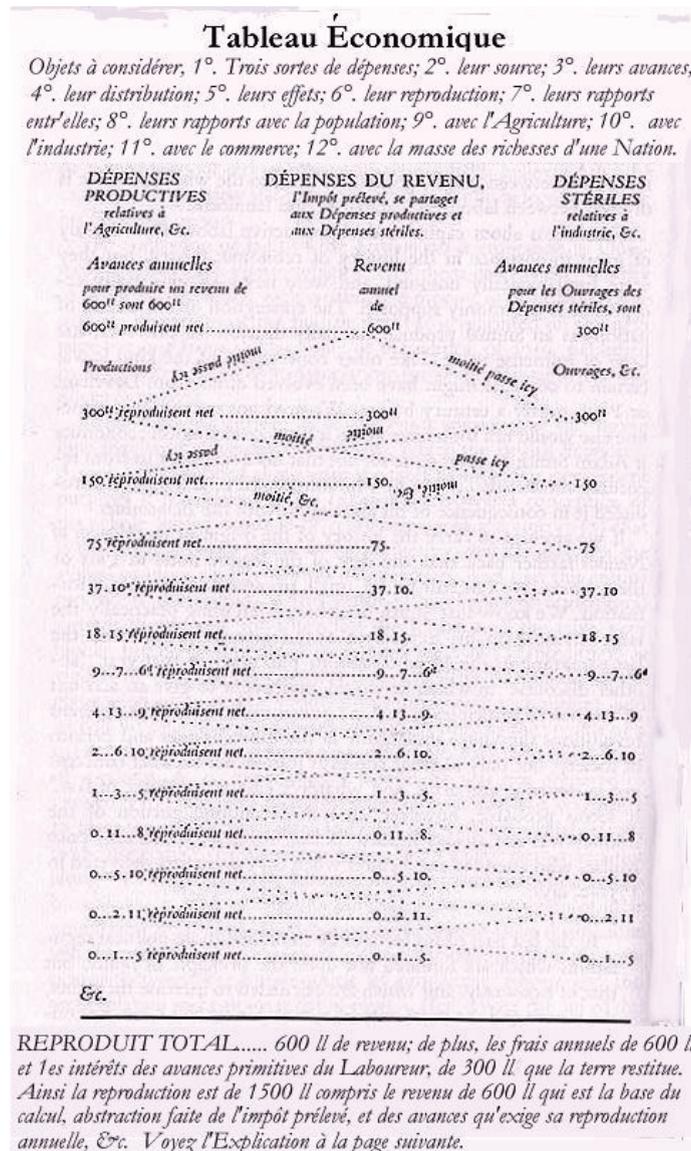


FIGURE 4.1 – Le *Tableau Economique* est une représentation synthétique et graphique de l'économie, conçu par Quesnay (1758) en faisant l'hypothèse que le travail de la terre est la seule production de richesse

- 300 livres sont retenues pour la classe productive dans le secteur sous forme de biens alimentaires, nécessaires à la vie de ceux qui travaillent la terre (150 livres), et de semences (150 livres) ;
- la classe des propriétaires reçoit 300 livres en monnaie, en paiement d'une rente par la classe productive, dont elle utilise la moitié pour acheter des marchandises agricoles et le reste pour acquérir des biens de consommation artisanaux et divers auprès de la classe stérile ;
- par la suite, en vue de remplacer le matériel et l'équipement usés (charrues en bois, en fer, pelles, pioches, par exemple), i.e. les biens de production, la classe productive achète à la classe stérile pour 150 livres de biens de production ;
- et la classe stérile achète à la classe productive des matières premières agricoles pour un montant de 150 livres ;
- Quesnay poursuit ensuite avec les mêmes étapes que précédemment en divisant à chaque fois les quantités par deux (étant donné que la classe productive et la classe stérile reçoivent la même quantité de la part de la classe des propriétaires).

4.2.3 Analyse et multiplicateur

Dans ce tableau en zigzag, l'accent est mis sur la dépense. En effet, ce sont les dépenses de la classe des propriétaires fonciers qui viennent en premier dans la représentation graphique, et qui semblent donner le coup d'envoi à la circulation des richesses dans l'économie. Dans le modèle économique de Quesnay, l'importance de la classe des propriétaires fonciers est donc précisée par le fait que l'équilibre de l'ensemble du système dépendait de leurs dépenses. Lorsque les propriétaires dépensent la moitié de leur revenus sur les produits agricoles et l'autre sur les produits industriels, le Tableau (et le modèle) est à l'état d'équilibre et se reproduit tout simplement sans modifications. Lorsque les propriétaires dépensent plus sur les produits industriels – en se livrant par exemple à des « luxes de décoration », *i.e.* une consommation excessive de produits de luxe - l'équilibre est perturbé et le Tableau ainsi que l'économie est en déclin. Inversement, quand ils dépensent plus sur les produits agricoles – en se livrant à un « faste de subsistance », *i.e.* une augmentation de la consommation de biens de subsistance - l'économie croît et produit un surplus économique plus important (Charles, 2008).

Ce Tableau *en zigzag* est donc un système ouvert qui fonctionne comme un « tableau des dépenses et des produits ré-utilisés », et inclut un effet de propagation qui ressemble au multiplicateur keynésien avec un effet accélérateur (Herlitz, 1996; Meek, 2008). L'analyse de Quesnay fait ainsi ressortir pour la première fois, dès le *XVIII^{ème}* siècle, les notions d'interdépendance des activités économiques, de processus de reproduction et d'équilibre qui seront reprises et développées ultérieurement par d'autres économistes après les physiocrates, comme Walras (section 4.3) ou Leontief (section 4.4) notamment.

4.2.4 Une inspiration pour de nombreux travaux

Le principal apport de Quesnay est de consolider les bases de l'économie en tant que nouvelle discipline. Avec Quesnay, la réflexion économique se distingue notamment de la théologie et de la politique, et se différencie notablement dans le cadre de sa méthode par rapport aux travaux antérieurs de l'époque médiévale ou mercantiliste.

La place du Tableau économique dans l'histoire de l'économie a pris une importance considérable depuis les années 1940. Il a été interprété soit comme un précurseur de l'équilibre général néoclassique (Schumpeter, 1954; Samuelson, 1982), soit comme l'inspiration du tableau entrées-sorties de l'analyse input-output de Leontief (1936)³ et l'ancêtre des matrices de comptabilité nationale : les classes productives et stériles pouvant en effet être assimilées aux secteurs primaire et secondaire respectivement d'une économie avec par exemple, l'agriculture et l'industrie alors que les avances annuelles de la classe productive peuvent être assimilées à des consommations intermédiaires nécessaires à la production agricole. Le tableau a aussi été utilisé plus généralement dans un système linéaire (Phillips, 1955; Bilingsoy, 1994), tandis que les auteurs marxistes ont interprété le Tableau comme une rationalisation de la société de l'Ancien Régime (Gleicher, 1982). En particulier, la notion d'interdépendance des activités économiques a notamment été reprise dans les travaux de Léon Walras (1874) (section 4.3).

3. Un bref aperçu de l'analyse input-output au sens de Leontief sera développé dans la section 4.4.

4.2.5 Limites du Tableau et liens avec CoBAYe

Le modèle de Quesnay est certes considéré comme le premier modèle faisant état des interdépendances économiques dans un système étudié, il n'empêche que plusieurs points peuvent être discutés, dont nous n'explicitons dans cette section qu'un certain nombre.

Dans la réflexion de Quesnay, l'activité industrielle - certes encore débutante - est sous-estimée, voire considérée comme improductive et stérile dans le modèle. Plus tard, après la mort de Quesnay, de nombreux économistes, à commencer par Smith (1776) ont analysé son rôle dans le fonctionnement de l'économie, et l'outil d'aide à la décision CoBAYe ne déroge pas non plus à cela dans sa tentative de compréhension et d'explicitation des phénomènes économiques.

Par ailleurs, par rapport à une analyse keynésienne, la notion de demande effective est absente ; et pour cause, le courant physiocrate étant antérieur aux écrits de Keynes. Toutefois, il n'empêche que le Tableau n'envisage pas que les producteurs puissent s'adapter à la demande anticipée des consommateurs, et les notions d'épargne, d'investissement ou encore d'exportation ne sont pas prises en compte. De plus, les besoins sont supposés illimités et pré-existants, à chaque étape du *zigzag*, alors qu'ils sont en général variables et dynamiques en fonction des circonstances ou de la rationalité de chaque acteur.

De plus, le Tableau économique décrit un état rêvé de l'économie. Sur cette base, d'année en année, l'économie se reproduit telle qu'elle. Il n'y a donc pas de croissance. À l'époque, Quesnay considérait cette situation comme le meilleur état possible pour la France. Dans une perspective d'analyse dynamique toutefois, la croissance - qu'elle soit économique ou démographique - joue un rôle important dans l'apparition d'activités publiques ou privées, et il nous semble important d'en tenir compte, comme nous le montrons dans les sections 4.6.2 et 6.2.3.

Enfin, outre la prise en compte des interdépendances entre les différentes « classes » ou secteurs d'activités d'un système économique, liées en plus à un territoire (ici le territoire national français du *XVIII^{ème}* siècle), l'analyse des applications du Tableau de Quesnay nous permet de mettre en évidence un aspect pratique de l'explication des phénomènes économiques. Le Tableau prend un point de vue d'économie positive, en ce sens qu'il décrit les activités et le

comportement de chaque classe en fonction de leur rôle économique ; mais l'analyse ne s'arrête en effet pas seulement là. Quesnay a aussi utilisé ce modèle pour tenter d'anticiper les résultats de différentes politiques économiques, notamment en cherchant à montrer les déséquilibres qui en découleraient, positifs ou négatifs pour la société (Barna, 1976; Pressman, 1994). En effet, tout d'abord, Quesnay a utilisé le Tableau pour étudier les effets de l'accumulation et de la consommation excessive de produits de luxe par la classe des propriétaires terriens. Ensuite, il a analysé les conséquences d'un système fiscal « injuste » en prenant le cas d'une taxe sur le secteur productif et le cas du système d'imposition de l'Ancien Régime (la « Ferme générale »). Troisièmement, Quesnay a aussi utilisé le Tableau pour discuter des cas liés de la faiblesse des prix agricoles en raison des entraves du commerce extérieur et des effets économiques de la mise en place d'un système de libre exportation des produits agricoles (et notamment de la hausse des prix qu'elle provoque). Enfin, d'autres Tableaux ont été utilisés pour montrer les conséquences de politiques encourageant le secteur industriel productif au détriment du secteur agricole productif.

Ces différentes politiques étudiées ont des effets multisectoriels et envisagent l'économie nationale en son ensemble, c'est-à-dire traitent d'une politique transversale avec un point de vue systémique. En ce sens, l'outil d'aide à la décision CoBAYe propose de s'engager dans cette même veine : anticiper des résultats de politiques publiques à travers une compréhension et une explicitation des phénomènes économiques liés à un territoire et aux acteurs qui le composent.

4.3 L'équilibre général de Walras (1874) envisage l'interdépendance des marchés, avec l'hypothèse de rationalité parfaite des individus

4.3.1 L'interdépendance des marchés

L'hypothèse d'homogénéité des produits impose l'existence d'un marché pour chaque bien. Sur ce marché toutes les unités du bien échangé sont rigoureusement identiques et il y a autant de marchés qu'il y a de biens. L'équilibre général prend en compte l'interdépendance des marchés dont les prix se forment simultanément et rétroagissent. Pour autant, les ajustements liés aux variations de prix sont censés se dérouler sans délai. Les hypothèses retenues sont celles de la

concurrence pure et parfaite (voir section 2.2.2), avec notamment les critères d'homogénéité, de parfaite mobilité des facteurs de production et de transparence.

En particulier, les marchés sont interdépendants parce que les offres et les demandes individuelles d'un produit particulier dépendent de prix qui sont fixés sur d'autres marchés. C'est sur cette interdépendance des marchés que la théorie de l'équilibre général est établie. Dans les conditions de la concurrence pure et parfaite, la théorie de l'équilibre général livre la conclusion suivante : il existe un système de prix assurant l'équilibre simultané de tous les marchés.

4.3.2 Théorèmes et caractéristiques de l'équilibre général

On résume généralement la théorie de l'équilibre général en faisant référence aux « théorèmes » suivants (Arrow et Debreu, 1954) :

- le théorème d'existence, qui énonce que l'équilibre général existe ;
- le premier théorème de l'économie du bien-être, qui indique que pour toute dotation initiale (distribution de la richesse), l'équilibre de marché en concurrence pure et parfaite est un optimum au sens de Pareto (voir section 2.2.1).
- le second théorème de l'économie du bien-être, qui indique qu'une redistribution forfaitaire des dotations initiales (des transferts de richesse) permet d'atteindre n'importe quel équilibre général ayant les caractéristiques d'un optimum de Pareto (en situation de concurrence pure et parfaite, voir section 2.2.1 également).

Si pour chaque marché l'équilibre partiel est unique et stable, dans les conditions de la concurrence pure et parfaite, il n'en va pas de même pour l'équilibre général. Il existe un grand nombre de systèmes de prix donnant un équilibre général, et l'on peut passer de l'un à l'autre sans perdre le caractère optimal du résultat. C'est la distribution initiale des richesses qui commande le résultat justifiant ainsi des politiques de redistribution.

4.3.3 Avantages et limites

Pour Leontief (1937), le principal avantage de la théorie de l'équilibre général réside dans le fait qu'elle permet de « prendre en compte le réseau très complexe des inter-relations mutuelles

que transmettent les impulsions de tout changement primaire local dans les coins les plus reculés d'un système économique existant donné » (Leontief, 1937, p.110).

Alors que dans le cas de l'équilibre partiel, qui fonctionne simultanément avec seulement deux ou trois variables, la relation entre ces quelques éléments peut souvent être perçue directement, une telle déduction intuitive devient pratiquement impossible dès que le nombre de variables augmente jusqu'à quatre, cinq, dix ou vingt⁴.

À l'époque, les critiques de la théorie de l'équilibre général (que Leontief nomme d'ailleurs *interdépendance générale*) manquaient rarement de mentionner le fait que, dans son état actuel et sur la base des informations empiriques existantes, cette théorie ne pourrait pas faire face à l'extrême complexité du processus économique réel. Pourtant, au lieu d'essayer d'affiner la théorie ou de fortifier les techniques permettant d'obtenir de plus amples informations factuelles, les critiques entreprirent de résoudre, ou plutôt d'interpréter, les mêmes problèmes complexes en s'appuyant sur leur propre intuition et sur les concepts de *changements*, d'*élasticités de substitution* ou de *relations* propres aux hypothèses de l'équilibre partiel. Pour Leontief, la réponse à ses critiques était évidente : le problème est en effet extrêmement complexe, mais si les outils théoriques les plus performants de l'époque appliqués à la plus grande quantité d'informations factuelles disponibles devaient se révéler insuffisants, même pour une solution approchée, il lui semblait difficile de croire que « les observations de bon sens soutenus par des méthodes d'analyse partielle approchées et raccourcies pourraient éventuellement obtenir des résultats plus significatifs » (Leontief, 1937, p.110). C'est d'ailleurs pourquoi il a été amené à s'inspirer des éléments de la théorie de l'équilibre général pour les appliquer à l'analyse *input-output* (voir section 4.4).

4.3.4 Inspirations et liens avec CoBAYe

Cette interdépendance se manifeste sur les marchés de biens et services et est caractérisée par une « unité de mesure » qui est le prix de chaque bien ou service. Dans certains cas, sans forcément avoir connaissance des prix, il peut être important pour un décideur d'anticiper les

4. Leontief utilisera dans ses tableaux entrées-sorties (voir les tableaux A.1 et A.2 en Annexe) entre 10 et 44 secteurs d'activités dans ses premiers articles, admettant que plus l'analyse est désagrégée, plus les résultats sont fins, pourvu que les données soient disponibles à cette échelle (Leontief, 1936).

comportements des agents économiques de son territoire : ceux-ci peuvent réagir par des stratégies ou activités qui sont liées à des marchés, mais aussi par des comportements parfois non-marchands - mais tout de même interdépendants - et pour lesquels l'identification d'un prix n'est pas aisée.

De surcroît, les hypothèses de la concurrence pure et parfaite ne sont évidemment pas toujours vérifiées dans le comportement réel des acteurs d'un territoire, notamment sous l'hypothèse de rationalité procédurale (voir section 1.5.1). L'un des objectifs de l'outil d'aide à la décision CoBAYe est justement de donner une description de l'économie d'un territoire, sans avoir recours aux hypothèses de la concurrence pure et parfaite sous-jacentes à l'équilibre général de Walras, mais en prenant appui sur l'hypothèse de rationalité procédurale des agents économiques et l'observation de leur comportement. Ceci s'accompagne de l'hypothèse d'une interdépendance entre politiques publiques et stratégies privées, se caractérisant bien souvent par une interdépendance des marchés comme dans la théorie de l'équilibre général (dans le cas de biens et services marchands). Cette volonté de description de l'économie et des conséquences d'une mesure publique sur son fonctionnement se double d'un objectif d'identification des acteurs concernés par la mesure publique et de leurs comportements, conséquences de leurs actions et réactions à ladite mesure ; nous proposons pour cela une méthodologie d'identification présentée à la section 4.6.2.

4.4 L'analyse input-output de Leontief (1937) caractérise les interdépendances à structure économique constante

L'analyse *input-output*⁵ est une extension pratique de la théorie classique de l'équilibre général, qui considère l'ensemble de l'économie d'une région, d'un pays voire même du monde entier comme un système unique et qui vise à décrire et à interpréter son fonctionnement en termes de relations structurelles de base directement observables (Leontief, 2008)⁶.

En particulier, Leontief (1937) décrit même une tentative d'appliquer la théorie économique de l'équilibre général - ou en ses termes, de l'*interdépendance générale* - à une étude empirique

5. Bien que le terme « entrée-sortie » existe, nous utiliserons dans cette section exceptionnellement le terme « input-output » lorsqu'il s'agit de la dénomination originale de Leontief (1936) et le terme français « entrée-sortie » pour les applications qui en ont découlé.

6. La première version de l'article a été rédigée en 1985 et la deuxième version de l'article a été publiée dans le *New Palgrave Dictionary of Economics* à titre posthume.

des interrelations entre les différentes parties de l'économie nationale, révélées par variations simultanées de prix, de résultats, d'investissements et de revenus.

Pour cela, l'auteur doit choisir, pour mener une analyse économique dans les années 1930, entre les types de modèles qui s'offrent à lui à l'époque, et fait face notamment à « deux antinomies fondamentales : l'équilibre général face à l'équilibre partiel, et l'approche dynamique par rapport à celle statique » (Leontief, 1937).

Jusqu'alors, le choix le plus élémentaire, c'est-à-dire une approche statique par équilibre partiel était la seule technique utilisée dans les enquêtes statistiques empiriques, tandis qu'une approche dynamique sous l'hypothèse d'un équilibre général n'avait encore jamais vu le jour et que l'analyse dynamique, mais avec des hypothèses d'équilibre partiel, dominait le champ de la théorie de l'économie appliquée. Leontief choisit ainsi la quatrième possibilité pour son modèle d'*analyse input-output*, c'est-à-dire une approche théorique reposant sur la combinaison de la complexité d'un système général d'interdépendances avec des hypothèses simplificatrices d'une analyse statique. Le raisonnement mené dans les travaux de Leontief prend par conséquent en considération ce que nous appelons les interdépendances existantes entre différents secteurs d'activité et à une *structure topo-économique* donnée et fixe du territoire envisagé (voir section 6.2.3).

4.4.1 Fonctionnement de l'analyse input-output

Le fondement théorique qui caractérise le fonctionnement de l'analyse input-output est assez simple. L'activité économique de l'ensemble du pays est visualisée comme si elle pouvait être analysée par un système de comptabilité de taille conséquente. Non seulement toutes les branches de l'industrie, de l'agriculture et du transport, mais aussi les budgets individuels de tous les acteurs privés, sont censés être inclus dans ce système. Chaque entreprise commerciale ainsi que chaque ménage est traitée comme une unité comptable distincte, ce qui donne un système complet de comptabilité constitué d'un grand nombre de différents types de comptes, en dépit des difficultés pratiques qui font qu'une telle couverture complète de toutes les transactions économiques est peut-être effectivement impossible, et qu'elle peut engendrer dans une certaine mesure des lacunes inévitables dans les résultats (Leontief, 1936).

Les hypothèses prises en considération par Leontief sont les suivantes (Rose et Miernyk, 1989) :

- chaque bien et service est fourni par un seul secteur productif, et il n'existe pas de bien émanant de deux secteurs différents ;
- il existe une relation de proportionnalité directe entre les *input*⁷ d'un secteur et les *output*⁸ d'un autre. En particulier, cette hypothèse marque la notion d'interdépendances ;
- enfin, il n'existe pas d'externalité économique.

En mettant l'accent sur un tableau à deux entrées et sur la désagrégation des entités productives, qui permet une description quantitative plus détaillée des propriétés structurelles de tous les éléments constitutifs d'un système économique donné, l'analyse *input-output* se démarque d'une analyse des interdépendances agrégée. En particulier, dans un de ses articles fondateurs, Leontief n'hésite pas à proposer une description très détaillée de chaque composante du tableau qu'il met en évidence⁹ (Leontief, 1936). Une des contraintes au modèle, à l'époque, était toutefois la complexité et l'ampleur des calculs numériques, qui dépassaient tout ce qui avait été réalisé jusqu'ici en économie et en sciences sociales. En effet, l'analyse *input-output* nécessite une quantité de données très conséquente, et un écart important dans les procédures de collecte de données de la plupart des pays inhibe le recueil d'informations et empêche les analyses des transactions intersectorielles, inter-régionales ou internationales. Les analystes ont notamment été forcés de recourir à des enquêtes coûteuses ou sur une variété de méthodes « abrégées » pour l'estimation de ces transactions (Rose et Miernyk, 1989).

Comme Leontief (2008) l'écrit lui-même, un tableau entrées-sorties standard contient des matrices carrées de chiffres disposés en échiquier. Chaque ligne et chaque colonne correspondante porte le nom d'un secteur particulier, par exemple, « celui de l'industrie de l'acier, de l'industrie de

7. Le terme désigne ici les matières premières ou les biens ou services de consommation intermédiaire, provenant d'un secteur et qui seront utilisés par un autre secteur pour produire un autre bien. On pourrait traduire « *input* » par *entrée* selon cette définition.

8. Le terme désigne ici tout simplement la production d'un bien ou d'un service. On peut le traduire par *sortie* par exemple.

9. Pour chacune des 44 catégories de son Tableau, Leontief décrit avec soin et précision ce qu'il entend par chaque bien ou service et dans quelle case du Tableau correspondent ces biens. Par exemple, l'élément « *Beurre, Fromage, etc.* » inclut le beurre, les produits dérivés du beurre, le fromage, le lait condensé, et l'oléomargarine ». Chacun de ces biens est ensuite catégorisé dans les champs *Pain et Produits du pain*, *Autres Produits Alimentaires*, *Consommation* et *Non-répartis* du Tableau.

l'automobile, des services publics d'électricité, des services de publicité, et ainsi de suite ». Chaque entrée individuelle représente alors le montant (qui peut, bien sûr, être nul) de la marchandise ou du service produit par le secteur - identifié par le nom de la ligne dans laquelle il apparaît - et qui a été fourni au secteur dont le nom figure à la tête de la colonne dans laquelle cette entrée est placée.

Enfin, et c'est ce qui permet de prévoir ou d'anticiper les mécanismes de production et de réaction d'autres secteurs d'activités, dès que les conditions qui déterminent les interactions entre deux secteurs (ce que Leontief appelle les *coefficients techniques* de la matrice) subissent une modification, tous les secteurs (ce que Leontief appelle les *variables*) réagissent à celles-ci avec des changements correspondants; et le caractère de ces réactions dépend des propriétés structurelles initiales du système de manière empirique donnée, c'est-à-dire des coefficients techniques caractérisant la matrice d'interactions et des données empiriques recueillies pour alimenter la construction de ces coefficients : c'est cette construction qui est la clef du mécanisme de description des interdépendances présenté par Leontief (1937) et qui permet d'anticiper les réactions aux changements, publics ou privés.

Le petit tableau schématique entrées-sorties présenté ci-dessous (Tableau 4.1) décrit les opérations intersectorielles entre les trois secteurs de l'économie élémentaire qu'ils constituent.

L'interprétation des chiffres donne donc les résultats suivants :

- pour produire un boisseau de blé, le secteur agricole nécessite 0,25 boisseau¹⁰ de blé (graines), 0,14 tonnes d'acier et 0,80 hommes-années de travail ;
- un ensemble similaire de coefficients (0,28 unités agricoles, 0,12 unités de produits manufacturés et 0,60 hommes-années) décrit les pré-requis pour la production d'un « yard »¹¹ de tissu.

10. Le boisseau est un récipient de forme cylindrique destiné à mesurer les matières sèches (grains et farines), de capacité variable suivant les lieux et les époques. Aux Etats-Unis, le boisseau US est défini comme valant 2 150,42 pouces cubes, soit exactement 35,239 070 668 8 dm^3 .

11. Un yard est une unité de mesure linéaire et vaut trois pieds, c'est-à-dire 0,9144 mètres.

Tableau 4.1 – Tableau entrées-sorties d’échange intersectoriels dans une économie simulée à trois secteurs - adapté de (Leontief, 2008).

	Agriculture	Usines	Ménages	Total
Agriculture	25	20	55	100 boisseaux
Usines	14	6	30	50 « yards »
Ménages	80	180	–	260 hommes-années

4.4.2 Critiques et améliorations

La principale critique de l’analyse *input-output* concerne les coefficients structurels de production, qui sont fixes dans le modèle initial, comme dans le cas de l’équilibre général de Walras (1874). En effet, originalement défini par Leontief, le terme *coefficient de production* suppose que « le montant de chaque élément de coût est strictement proportionnel à la quantité de la production » (Leontief, 1941, p.37). Il explique que cette formulation est justifiée par les limites des « données statistiques disponibles » et par les faits observables, et note toutefois que cette hypothèse n’est pas aussi restrictive qu’elle puisse paraître. Il est important toutefois de mettre en évidence les conséquences de la critique : dans le modèle de Leontief, les coefficients de production, ou coefficients techniques, sont les éléments qui caractérisent « l’interdépendance générale » entre les secteurs d’activité, pour reprendre les termes de Leontief lui-même. En d’autres termes, une fois les hypothèses sur le territoire économique posées, et une fois identifiés ou définis les secteurs d’activité qui constituent les colonnes de gauche et du haut du tableau entrées-sorties, ce sont les valeurs de ces coefficients qui expriment et caractérisent les relations intersectorielles. En particulier, dans le cas où le tableau entrées-sorties est utilisé comme moyen pour prédire ou anticiper quelles seraient les conséquences d’une modification d’un secteur sur les autres, ce sont bien les valeurs de ces coefficients qui permettent d’arriver aux résultats. La précision de leur valeur est donc dans ce cas essentielle. la critique formulée concerne la rigidité de ces coefficients, considérés comme *fixes*. Pour les critiques, ils ne pourraient par conséquent pas tenir compte du changement technologique¹², de futurs rendements d’échelle ou plus généralement de productivité engendrée grâce à l’apport de connaissance, à l’innovation de procédés ou d’organisation, aux compétences du facteur travail, ou encore à un autre arbitrage des trois facteurs de production

12. Entendu comme un terme général couvrant la gamme entière allant de techniques de production complètement nouvelles ou des changements dans uniquement de simples inputs (dont des changements de productivités de facteurs), il tient aussi compte des remplacements techniques.

clefs de l'époque terre-travail-capital ; et de fait, les résultats de l'analyse *input-output* dans ces conditions n'exprimeraient qu'une analyse statique des interdépendances intersectorielles, ce qui rendrait les résultats du modèle très éloignés du processus réel de l'économie.

Les réponses à cette critique ont toutefois été assez nombreuses, de la part des partisans de l'analyse *input-output*, après avoir eux-mêmes pratiqué le modèle. Des méthodes ont été mises en œuvre pour actualiser les valeurs des coefficients techniques de la matrice de façon statistique (Miernyk, 1970) ou heuristique (Tiebout, 1969) ; d'autres méthodes s'intéressent aux changements technologiques (Chenery, 1953; Rose, 1977) ou comportementaux (Carter, 1970) qui influent sur ces coefficients ; enfin d'autres encore tentent de créer des pseudo-données dans le cas où le tableau est lacunaire (Griffin, 1977). Ce nombre étendu de méthodes pour rendre les coefficients techniques moins figés a eu deux conséquences : d'une part, elles ont permis la prise en compte de changements technologiques et de différences de productivité, en recourant soit à des données plus qualitatives, soit à une masse d'informations microéconomiques pour mener des analyses statistiques et, d'autre part, elles ont permis à l'analyse *input-output* de se développer pour être utilisée en comptabilité nationale dans de très nombreux pays aujourd'hui. Toutefois, elles ne changent pas la nature même des coefficients de production, c'est-à-dire que ces-derniers représentent toujours les interdépendances entre différents secteurs d'activité au sujet d'échanges de biens ou de services marchands. Il ne peut pas être question de biens ou de services non-marchands voire uniquement de comportements qui ne se traduisent pas par une implication immédiate sur des marchés par exemple. ce point sera détaillé de façon plus approfondie dans la section 4.4.3.

4.4.3 Applications, inspirations et liens avec CoBAYe

Listés colonne par colonne (par exemple dans le Tableau 4.1), ces ensembles de coefficients techniques représentent la matrice structurelle de la partie productive d'une économie donnée. Celle-ci fournit une base pour l'identification de l'« *output* » total secteur par secteur, ainsi que l'ampleur des transactions inter-sectorielles qui permettent aux secteurs productifs de fournir aux ménages et aux autres consommateurs finaux un ensemble de biens et de services donné. En particulier, ce type de matrice met en évidence les interdépendances entre différents secteurs de

l'économie. À une échelle plus désagrégée, Leontief montre que ces interdépendances concernent également des biens et des services en particulier et non seulement des secteurs industriels. Cependant, dans ce Tableau, les coefficients qui expriment les relations d'interdépendance sont liés aux prix du marché voire à des unités quantitatives par exemple entre les différents secteurs. Dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe, nous proposons d'étendre encore plus cette représentation en faisant l'hypothèse - comme Leontief - que les secteurs productifs et non-productifs d'un système économique sont interdépendants, mais que cette interdépendance peut aussi se manifester à échelle individuelle, et notamment par le comportement des agents économiques qui composent le territoire lié au système économique donné. En effet, nous supposons que les politiques publiques mises en place par les décideurs engendrent des réactions de la part d'acteurs privés et publics, et ces stratégies privées et publiques (sous la forme d'autres politiques par exemple, pour ces dernières) ont à la fois des rétroactions sur les précédentes politiques et engendrent également à nouveau d'autres activités : elles sont intrinsèquement liées et agissent chacune sur une autre par des mécanismes d'anticipations et de réactions par exemple. Par conséquent, en faisant l'hypothèse que ces interdépendances existent, l'outil CoBAYe propose une méthodologie basée sur une typologie d'effets directs¹³, indirects et induits pour les identifier et ainsi obtenir plus d'informations pour aider à la décision.

La méthode de construction de la matrice entrées-sorties de Leontief met en évidence la méthode qu'il envisage pour décrire les relations inter-sectorielles dans l'économie.

1. Les différentes classes ou secteurs d'activités, appelées variables par Leontief (1937), de l'économie du territoire considéré sont définies préalablement au modèle. Elles permettent ainsi de calibrer les coefficients techniques en fonction des informations disponibles et des données qui peuvent être recueillies. A l'échelle nationale, comme dans de nombreux tableaux entrée-sorties menés par Leontief (1977), les secteurs sont sans doute suffisants dans l'optique d'un choix mené par un décideur à la même échelle, nationale, voire internationale. Une désagrégation est toutefois possible, comme il est en question dans ses premiers articles et permet de mettre en évidence des interactions entre secteurs, voire entre biens et services marchands. Toutefois, l'accent n'est jamais mis sur les acteurs économiques sans qui les échanges n'auraient pas lieu, et pour cause, là n'est pas l'objectif de Leontief. L'outil d'aide

13. Celle-ci est détaillée en section 4.6.2.

à la décision CoBAYe s'inspire donc des matrices entrée-sortie dans le sens où nous pensons également que ces interdépendances doivent être représentées, mais probablement à l'échelle fine des ménages, entreprises et collectivités locales, et en y agrégeant une information supplémentaire sur la nature des agents économiques qui mènent ces interactions. Ce sont en effet les interactions entre les couples acteur-comportement qui nous semblent les plus prometteuses pour décrire et identifier les interdépendances entre ceux-ci et, par là, fournir des informations au décideur sur les conséquences de la mise en place d'une politique publique.

2. De plus, les coefficients techniques qui représentent les interactions entre les différents secteurs d'activités sont quantitatifs (voir par exemple le tableau A.2 présenté en Annexe) et décrivent en général un transfert monétaire en volume ou un coefficient d'interaction entre deux secteurs (Tiebout, 1969). Ils permettent ainsi de traduire, de façon quantitative, les conséquences d'un *choc* sur un secteur économique, et notamment la propagation de ses conséquences sur les autres. Dans leur construction, ces coefficients nécessitent cependant des données quantitatives relatives essentiellement aux prix des marchés qui s'établissent entre les différents biens et services échangés entre les divers secteurs ainsi modélisés. Toutefois, ces coefficients n'envisagent par exemple pas de comportements liés à des variations de quantité de biens ou services non marchands, comme par exemple la réduction des nuisances sonores ou environnementales. Les comportements qui ne peuvent se traduire immédiatement en des variations quantitatives sur les marchés sont également laissés de côté, et pour cause, leur attribuer un coefficient technique est difficile. Enfin, les coefficients techniques sont obtenus par des relations linéaires entre les produits consommés dans une industrie, la quantité achetée de ces produits et le prix de l'échange et reflètent en cela les types de relations originellement utilisées par Walras (1874) dans sa première formulation de la théorie de l'équilibre général. Or, l'hypothèse de linéarité des coefficients ne peut pas être garantie dans le cas où les mesures qui permettent de justifier les interactions entre variables ne sont pas des données fixes et mesurables - des volumes ou des prix dans le cas de l'analyse *input-output* - mais des comportements observés des acteurs économiques concernés par une mesure publique, dans le cas de l'évaluation d'une politique publique. Par conséquent, il ne nous a pas semblé judicieux d'utiliser une démarche de construction de coefficients

techniques, en s'inspirant de celle de Leontief, pour caractériser les interdépendances entre les couples agents-comportements du territoire économique donné.

3. Par ailleurs, comme Leontief le fait lui-même remarquer, les coefficients techniques sont définis sous des hypothèses d'équilibre général et avec une approche statique, tout en supposant un équilibre stationnaire (Leontief, 1937, pp.109-110). Certes, l'intégration de comportements des ménages autres que la consommation, comme l'épargne et l'investissement, sont pris en considération, mais l'analyse reste statique, c'est-à-dire que les secteurs d'activités déterminés « à gauche » et « en haut » des tableaux sont figés et leur structure ne varie pas avec les modifications que peut subir un secteur. Même si les coefficients techniques peuvent varier¹⁴, on observe les mêmes secteurs, sans aucune apparition ni disparition d'activité. Enfin, les modifications du territoire économique, même celles qui sont engendrées par les secteurs d'activité sus-mentionnés, ne peuvent pas être pris en considération dans le tableau entrée-sortie du fait de sa construction. En effet, les caractéristiques du territoire sont définies en amont de l'analyse entrée-sortie dans le modèle de Leontief, et leur variation n'est par conséquent pas possible à l'intérieur du modèle. Ces deux contraintes nous paraissent être trop restrictives pour une analyse des comportements d'acteurs économiques au sein d'un territoire donné, nécessaire pour la description de cette économie territoriale. Les interactions représentées par le modèle de Leontief sont pertinentes au sein d'une *structure topo-économique* (STE - voir section 6.2.3) donnée constante, et à interdépendances existantes, mais elles ne permettent pas une approche dynamique dans l'analyse ni une prise en compte des modifications du territoire et des comportements des acteurs qui le composent. Nous nous inspirons donc du modèle de Leontief pour les interdépendances au sein d'une STE mais proposons une autre méthodologie dans la section 4.6.2 pour tenir compte de ces éléments.

14. La variation, ou plutôt l'absence de variation, des coefficients techniques a fait l'objet de nombreuses critiques suite aux premiers travaux sur l'analyse *input-output*, mais plusieurs analystes ont alors modifié la construction des coefficients pour y intégrer les changements représentant ceux que l'on pouvait déceler dans le processus économique réel (Chenery, 1953; Carter, 1970).

4.5 Quelle utilisation de la théorie des jeux dans CoBAYe ?

En s'appuyant sur la section 4.5.1 qui propose un bref aperçu de la théorie des jeux et de ses théorèmes fondamentaux, il nous a semblé intéressant de chercher à quel point la théorie des jeux pouvait avoir un impact sur l'analyse des mécanismes d'interdépendances. Peut-elle expliquer des phénomènes de jeux d'acteurs ? Est-elle en mesure, en outre, d'aider à l'évaluation des effets qui découleraient de la mise en place de la politique publique et, par conséquent, de participer à la construction de l'outil d'aide à la décision ? Nous développons dans cette section une brève analyse des jeux qui peuvent être mis en évidence lors de la mise en œuvre d'une politique publique en faveur de l'amélioration de la qualité de l'air, et proposons de l'illustrer avec des exemples extraits du Chapitre 9 et relatifs aux différents comportements entre acteurs lors de la création d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris. Il s'agira à chaque fois évidemment de jeux statiques, étant donné que ce sont ceux qui s'appliquent le mieux aux cas envisagés.

Enfin, dans la suite de cette section, les illustrations seront représentées sous la forme normale d'un jeu simplifié comme présenté à la figure 4.2. Le joueur 1 a deux choix possibles : A et B et le joueur 2 a deux options C et D parmi lesquelles il peut choisir. Les couples (a, b) , (c, d) , (e, f) et (g, h) sont alors les issues du jeu, qui seront soit des comportements ou des effets, soit des valeurs chiffrées dans les illustrations. Enfin, pour faciliter les démonstrations, les cases du jeu sont numérotées de **1** à **4** selon la figure.

		Joueur 2	
		C	D
Joueur 1	A	1 : a, b	4 : c, d
	B	2 : e, f	3 : g, h

FIGURE 4.2 – Représentation d'un jeu sous forme normale

4.5.1 Bref aperçu de la théorie des jeux et des fonctions de décision

La théorie des jeux présente une analyse mathématique élaborée du problème du choix parmi plusieurs options au cours des jeux de stratégie. Elle a également suscité un intérêt pour des jeux expérimentaux. L'objectif de cette section est de donner un bref aperçu du lien entre la

théorie des jeux et la théorie de la décision en absence d'incertitude ou en présence de risque. Elle consistera également à synthétiser brièvement l'ouvrage de Von Neumann et Morgenstern (1944) et de décrire les premières expériences qui ont suivi et pris appui sur cet ouvrage fondateur. Enfin, cette section constitue les bases nécessaires pour l'application de la théorie des jeux à l'outil CoBAYe.

L'étude des situations de conflit d'intérêts fut, avec son origine militaire, un des moteurs de la recherche opérationnelle. C'est l'objet de la théorie des jeux, qui doit son nom au fait que les jeux de société représentent eux-mêmes des situations de conflit réelles : les échecs pour la guerre ; le *Monopoly* pour l'investissement immobilier ; les jeux de cartes pour la communication, le choix de stratégies ou le combat. Ainsi, avec ou sans coopération, en connaissance complète ou non des autres joueurs et de leurs objectifs, voire de leurs rationalités, avec ou sans incertitude sur l'environnement du jeu, la théorie des jeux a formalisé un grand nombre de situations de conflit et a essayé d'y apporter des solutions. Ses applications en théorie de l'assurance et de la concurrence sont les plus connues, mais ses apports sont importants aussi dans l'analyse des équilibres économiques et dans la formalisation de situations politiques et sociales (organisation industrielle, jeux de vote, négociations syndicales...). L'approche de la théorie des jeux diffère de la théorie de la décision individuelle puisqu'elle a pour but de proposer des solutions à des problèmes où plusieurs décideurs interviennent. Elle propose un ensemble de méthodes d'analyse et de concepts de solution pour lesquels chacun des joueurs tient compte de la réaction des autres joueurs à sa décision. Ces analyses prennent appui sur la théorie de l'utilité espérée pour représenter le comportement des joueurs face aux risques, quand ceux-ci proviennent de mécanismes aléatoires. En revanche, l'incertitude à laquelle fait face chaque joueur quant aux décisions des autres joueurs n'est pas représentée comme une variable aléatoire. Chacun des joueurs, se mettant à la place de ses opposants, peut chercher à trouver une décision pour chacun qui soit telle qu'aucun ne puisse individuellement mieux faire si les autres ne dévient pas. Ainsi, ce type de raisonnement ne peut se faire que sur la base d'une description du jeu qui soit une connaissance commune de tous les joueurs ; il suppose de plus que chacun des joueurs raisonne de la même manière et adopte un comportement rationnel (Kast, 2002).

Dans notre propos, nous essayons dans cette section de représenter les interactions entre différents acteurs du territoire lors de la mise en place d'une politique publique. Il est important toutefois de garder à l'esprit certaines des hypothèses qui sous-tendent les anticipations des autres acteurs dans la théorie des jeux :

- chaque acteur est en situation de rationalité parfaite ;
- chaque joueur suppose que les autres raisonnent comme lui, et fait ses choix en se mettant à leur place ;
- seule l'incertitude probabiliste est intégrée aux mécanismes qui permettent de trouver une solution à ces jeux, et elle est formalisée par des éléments de la théorie des probabilités : les joueurs raisonnent donc en s'appuyant sur la maximisation de l'utilité espérée.

Sous ces hypothèses, nous essayons alors de formaliser des mécanismes de jeux d'acteurs dans la section 4.5 : quelles sont leurs anticipations, leurs comportements et leurs réactions ? Ceux-ci peuvent-ils être modélisés par la théorie des jeux, et sous quelle forme ?

Dans son formalisme, l'origine de la théorie des jeux commence probablement avec les œuvres de Borel (1921, 1938). À la fin des années 1920, von Neumann (1928), alors qu'il travaillait indépendamment de Borel, publia la première preuve du théorème fondamental de la théorie des jeux, théorème que rejeta d'ailleurs Borel initialement, persuadé qu'il n'était pas vrai dans tous les cas. Toutefois, le sujet ne prit de l'importance qu'une quinzaine d'années plus tard, avec la parution de l'ouvrage de Von Neumann et Morgenstern (1944)¹⁵ : leur but était d'analyser de façon mathématique une classe de problèmes très générale, qu'on pourrait appeler les problèmes de stratégie. L'exemple le plus simple est un jeu de pions, ou d'échecs contre un adversaire. Il est possible de savoir à n'importe quel moment quelle est l'étendue des options possibles pour l'adversaire, mais il n'est pas possible de savoir laquelle il va choisir. La seule information disponible est que son choix, en général, ne sera pas complètement fait au hasard : l'adversaire agira de sorte à augmenter ses chances de gagner et diminuer celles du joueur. On est donc dans une situation d'incertitude plutôt que de risque, au sens de Edwards (1954), c'est-à-dire une situation pour laquelle il n'est pas possible de déterminer des probabilités objectives. Les objectifs du joueur étant les mêmes que ceux de son adversaire, le problème est donc de savoir

15. Une seconde édition de l'œuvre, avec une annexe sur la mesure de l'utilité cardinale, a été publiée trois ans plus tard, en 1947.

quelle est la meilleure stratégie à adopter. La théorie des jeux ¹⁶ n'apporte pas d'aide pratique au développement de telles stratégies, mais elle permet de bénéficier de règles utiles pour choisir parmi elles.

Le théorème fondamental de Von Neumann et Morgenstern (1944).

Il n'est pas toujours possible de trouver une solution stable dans le cas d'un jeu à deux joueurs, c'est-à-dire que l'existence d'un point-selle n'est pas toujours assurée. En effet, si le joueur *A* choisit une stratégie de minimax, le joueur *B* peut être incité à ne pas adopter de stratégie de minimax lui non plus, mais à chercher à prendre avantage de l'information qu'il vient d'obtenir ¹⁷ en choisissant une nouvelle stratégie. Le jeu n'a donc pas de solution.

Toutefois, des résolutions diverses de ce problème sont possibles. Von Neumann et Morgenstern (1944) ont par exemple choisi d'introduire la notion de *stratégie mixte* qui est une distribution de probabilité de deux ou plus de stratégies pures. Le théorème fondamental de la théorie des jeux est que si les deux joueurs d'un jeu à somme nulle adoptent tous les deux des stratégies mixtes qui minimisent leur *perte espérée* maximale, alors il existe toujours un point-selle à l'issue du jeu. De cette façon, chaque joueur aura, sur le long terme, sa perte espérée et ne sera pas soumis à l'incitation de changer de comportement même s'il découvre quelle est la stratégie mixte de son adversaire. En effet, puisque *A* atteint déjà le minimum possible d'après la stratégie qu'il a choisie, un quelconque changement de stratégie par *B* n'aura pour effet que d'augmenter les gains de *A*, et par conséquent de réduire les gains (ou d'augmenter les pertes) espéré(e)s de *B*. Évidemment, cette démarche est réflexive, donc les mêmes conclusions sont vraies pour *B*.

Représentations

L'équilibre de Nash

Un des concepts de solution les plus couramment admis est sans doute celui proposé par John Nash d'abord dans un article d'une page (Nash, 1950a), puis dans sa thèse de doctorat (Nash,

16. Les définitions des termes (jeu, imputation, stratégie, solution...) de la théorie des jeux sont en Annexe et inspirées de Edwards (1954).

17. Il est maintenant au courant que le joueur *A* a choisi d'adopter une stratégie de minimax des pertes.

		Joueur 2	
		C	D
Joueur 1	A	7, 3	7, 4
	B	3, 4	10, 5

FIGURE 4.3 – **Représentation sous forme normale d’un jeu à deux joueurs, chacun disposant de deux stratégies possibles, respectivement A , B et C , D .**

1950b) : l’équilibre de Nash caractérise en effet l’issue logique du jeu, entendue comme reflétant les hypothèses rationnelles des joueurs. Il peut être défini comme un ensemble de stratégies (une par joueur) tel que la stratégie de chaque joueur est une meilleure réponse aux stratégies des autres joueurs. Elle renvoie ainsi à un critère d’« absence de regret », c’est-à-dire qu’il implique qu’aucun des joueurs ne regrette d’avoir joué comme il l’a fait, étant donné la manière dont les autres joueurs ont joué.

Dans le jeu présenté en figure 4.3, une des façons de trouver l’équilibre de Nash est d’éliminer successivement les *stratégies strictement dominées*, c’est-à-dire les stratégies qui donnent, pour le joueur qui les emploierait, un résultat systématiquement inférieur à celui obtenu avec une autre stratégie, et cela quelle que soit la stratégie adoptée par les autres joueurs. La méthode d’élimination successive, c’est-à-dire par itérations successives, stratégies dominées est appelée *méthode de la dominance itérée* et conduit directement à l’équilibre de Nash. Dans l’exemple de la figure 4.3, C est une stratégie dominée pour le joueur 2 puisque, quelque soit le choix du joueur 1, le joueur 2 obtient un gain supérieur en jouant D . Si le joueur 1 joue A , jouer D rapporte 4 points au joueur 2 alors que jouer C ne lui en rapporte que 3. De même, si le joueur 1 joue B , jouer D lui rapporte 5 points alors que jouer C ne lui en rapporte que 4 : C est donc une stratégie strictement dominée et D une stratégie strictement dominante pour le joueur 2. Puisque l’équilibre de Nash n’est atteint que si aucun des deux joueurs ne peut faire mieux étant donné la stratégie de l’autre, il est évident qu’une stratégie dominée ne peut pas constituer un équilibre de Nash : il est donc possible d’éliminer la stratégie C pour le joueur 2. Le joueur 1, *en faisant l’hypothèse que le joueur 2 est rationnel*, anticipera donc que le joueur 2 jouera D . Or, si celui-ci joue D , il est clair que A devient à son tour une stratégie dominée pour le joueur 1 puisqu’il gagne 7 points en jouant A alors qu’il en gagne 10 en jouant B . Ainsi, en éliminant successivement les stratégies dominées de chaque joueur, nous nous apercevons que la seule issue

rationnelle du jeu de la figure 4.3 est (B,D) . Par conséquent, le seul équilibre de Nash du jeu est (B,D) (Eber, 2013, adapté de).

Évidemment, la majorité des jeux n'est pas soluble par la méthode de la dominance itérée. En effet, dans bien des cas, on ne peut pas identifier de stratégies dominées et, par conséquent, trouver l'équilibre de Nash par simple élimination itérative de ces stratégies. Il faut alors procéder « case par case » pour les cas plus compliqués. Il est important de noter toutefois que, après validation par des données expérimentales, environ 70 % des joueurs 1 choisissent la stratégie B quand ils sont confrontés au choix : l'équilibre de Nash ainsi déterminé correspond bien au cas empirique. Toutefois, que dire des 30 % des joueurs 1 restants ? S'ils étaient rationnels, ils auraient choisi la stratégie B , mais ils ont préféré choisir A . Plusieurs hypothèses sont possibles : ils peuvent être irrationnels, bien sûr, mais il est surtout possible qu'ils n'aient pas confiance dans la rationalité du joueur 2. En effet, la stratégie A est une stratégie sans risque pour eux, puisqu'ils sont assurés de gagner 7 points quel que soit le choix du joueur 2. En revanche, en jouant B , ils s'exposent au risque de voir le joueur 2 faillir à sa rationalité, c'est-à-dire qu'il peut jouer C (c'est-à-dire le choix non-rationnel) parce qu'il est irrationnel, parce qu'il n'a pas compris le jeu, ou tout simplement parce qu'il veut « embêter » le joueur 1. C'est donc par aversion au risque et par raison de sécurité que les 30% des joueurs 1 choisissent la stratégie A . Cette remarque est importante car rien ne nous garantit en effet que les choix des acteurs économiques sont forcément rationnels si on ne fait pas l'hypothèse de l'agent économique comme « *homo economicus* ». En particulier, les sections suivantes discuteront plus en détail les implications des résolutions de tels jeux lorsqu'ils représentent des situations de conflit ou de coopération entre des acteurs publics et privés soumis à des rationalités différentes.

Enfin, bien d'autres éléments caractérisent la théorie des jeux et des fonctions de décision, dont par exemple le théorème de Nash pour des stratégies mixtes - c'est-à-dire la distribution de probabilités pour un joueur sur l'ensemble des stratégies de ce joueur (Nash, 1950c, 1951) pour les jeux statiques, les équilibres de Nash en sous-jeux (Selten, 1975; Selten et Stoecker, 1986), la méthode d'induction à rebours (Camerer *et al.*, 1993; Rubinstein, 1999), la méthode d'induction projective (Cooper *et al.*, 1994) pour les jeux dynamiques, ou encore les jeux à

information incomplète¹⁸ et les équilibres bayésiens (Harsanyi, 1967, 1968b,a) dans le cas où il y a une incertitude (probabiliste) sur la nature du joueur 2. Ces méthodes ont fait l'objet de travaux théoriques et également expérimentaux (Chiappori *et al.*, 2002; Rubinstein, 2007) mais peuvent être considérés comme des *raffinements* de l'équilibre de Nash. En particulier, ce mémoire ne cherche pas à présenter au lecteur un aperçu exhaustif¹⁹ des différentes méthodes de résolution des jeux, mais plutôt une initiation - si nécessaire - pour la compréhension des applications aux problématiques de jeux d'acteurs publics et privés dans la mise en place d'une politique publique, présentée aux sections suivantes.

4.5.2 Le dilemme du prisonnier comme problème du bien public

« **Histoire** » du dilemme du prisonnier Le premier jeu ayant une structure de dilemme de prisonnier est le jeu expérimental proposé par les mathématiciens Dresher et Flood (Flood, 1958) pour évaluer la robustesse de l'équilibre inventé au même moment par Nash (1950c). C'est toutefois un autre mathématicien, Tucker, qui rend le jeu populaire en lui donnant l'appellation « dilemme du prisonnier » en mai 1950 (Tucker, 2001) et en l'introduisant de la façon suivante (Eber, 2013) :

« Deux hommes, accusés d'avoir conjointement enfreint la loi, sont détenus séparément par la police. Chacun est informé que :

1. Si l'un des deux avoue et que l'autre non, le premier aura une récompense (payoff : +1) alors que le second sera lourdement condamné (payoff : -2).
2. Si les deux avouent, ils subiront tous les deux une peine légère (payoff : -1).

En même temps, chacun a de bonnes raisons de croire que :

3. Si aucun des deux n'avoue, chacun repartira libre (payoff : 0). »

La formulation originale du dilemme du prisonnier a donc la forme suivante (Figure 4.4) :

18. Dans un jeu à information incomplète, le joueur 1 ne connaît pas le *type* du joueur 2, c'est-à-dire qu'il a un nombre de matrices de payoffs en fonction du nombre de types d'action que peut avoir le joueur 2, mais ne sait pas quel type d'action il va choisir.

19. Une compréhension plus avancée de la théorie des jeux et de ses diverses applications peut être trouvée chez Camerer (2003) ou Myerson (2013) par exemple.

		Prisonnier 2	
		Avoue (A)	N'avoue pas (N)
Prisonnier 1	Avoue (A)	-1, -1	1, -2
	N'avoue pas (N)	-2, 1	0, 0

FIGURE 4.4 – Dilemme du prisonnier sous sa représentation normale

Application au bien public Une des applications bien connues du jeu appelé « dilemme du prisonnier » est la fourniture d'un bien public. Un *bien public* peut être défini comme devant être fourni en quantité équivalente à tous les membres d'une communauté ; des exemples familiers étant la défense nationale ou les pompiers. Nous prenons ici l'exemple de l'*air pur* comme un bien public, ou plutôt l'air le plus pur possible²⁰. Toute fourniture d'un bien public qui requiert un coût en ressources, en temps ou en contraintes morales peut être perçue comme une stratégie de jeu comme décrite par le « dilemme du prisonnier » à la Figure 4.4. Chaque individu est gagnant si tous contribuent à fournir le bien collectif plutôt que si personne ne contribue ; mais chaque joueur gagne encore plus s'il est le seul à ne pas payer pour le bien. En représentant la configuration obtenue avec l'air pur comme bien public selon la figure 4.5, et en envisageant le joueur 1 comme soit l'institution publique mettant en place une politique favorisant une meilleure qualité de l'air (dans notre cas la Ville de Paris), soit l'ensemble des autres bénéficiaires du bien public (c'est-à-dire ceux qui pratiquent le territoire parisien - que nous nommons *Parisien(s)* par simplification d'écriture), nous obtenons :

Nous avons considéré ici que la dépense publique pour la *Ville de Paris* pour mettre en place un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques est sa contribution pour améliorer la qualité de l'air parisien, comme annoncé par le Conseil de Paris en novembre 2013 (Conseil

20. En première approximation, on peut considérer que la pollution urbaine peut être due à deux causes qui se traduisent à deux échelles différentes. D'une part la proximité du trafic urbain a un effet local sur la pollution : ce sont les particules émises par les véhicules et le type de conduite qui affectent directement les utilisateurs de véhicules eux-mêmes et les piétons ou individus avoisinants. D'autre part, il existe une situation de fond, indépendante à court terme du trafic, et qui engendre une pollution rémanente en ville : elle est due majoritairement aux pollutions des jours et mois précédents, à la fois en provenance des polluants émis de véhicules, du type de conduite lui-même, du chauffage urbain ou encore du transport par le vent de déchets en provenance des industries, locales, voire même internationales ; ces différents polluants s'accumulent en ville du fait de sa configuration (couloirs de vent, climat, topographie...) (Airparif, 2011). Une action publique à court terme peut résoudre la situation de trafic - par exemple en réduisant la circulation de véhicules thermiques et en la remplaçant par des véhicules électriques, mais agir sur la pollution de fond requiert des actions plus profondes et à plus long terme, parfois même sur des territoires qui dépassent la compétence locale ou régionale. Le caractère *homogène* de l'air pur ainsi décrit renvoie à cette pollution de fond, dont la politique publique souhaite réduire l'ampleur.

		Parisien	
		Contribue	Ne contribue pas
Ville de Paris	Contribue	1, 1	-1, 2
	Ne contribue pas	2, -1	0, 0

FIGURE 4.5 – Dilemme du prisonnier représentant la contribution au bien collectif qu’est l’air pur à Paris

de Paris, 2013). De même, la contribution du *Parisien* est l’achat d’un véhicule électrique, en faisant l’hypothèse que cet acteur utilise aujourd’hui un véhicule thermique pour effectuer ses déplacements en ville et que le nouveau véhicule acheté répond aux mêmes besoins. La case 3 donne un payoff de (0,0) car chaque acteur voit sa situation inchangée : nous sommes comme dans le cas du scénario de référence. Les cases non-coopératives 2 et 4 donnent comme payoff respectivement (2, -1) et (-1,2) étant donné que l’acteur qui a fait la dépense tout seul ressent une baisse de son utilité alors que celui qui n’a rien fait mais qui profite du bien collectif (au moins en partie) a une utilité augmentée. Enfin, la situation coopérative de la case 1 donne un payoff de (1,1) et correspond à la situation où chacun a coopéré pour la dépense - publique et privée - afin de bénéficier du bien collectif : c’est uniquement dans cette situation que les deux acteurs profitent simultanément d’un meilleur air en ville.

Cette situation met en évidence les deux caractéristiques d’un bien public : la non-rivalité et la non-exclusion. La caractéristique de la non-rivalité crée la possibilité de gains suite à un déplacement coopératif de la case 3 à la case 1. En effet, étant donnée la non-rivalité, une décision de consommation collective d’un air de meilleure qualité est nécessaire pour produire efficacement le bien. Celle-ci peut être le fait d’une décision réglementaire imposant à l’action individuelle un caractère obligatoire (une taxe, une obligation de comportement...), une incitation économique (une subvention à l’achat de véhicules électriques...) ou encore un processus concerté aboutissant à des arguments de coopération, par exemple. Par ailleurs, l’échec de l’application du principe d’exclusion produit une incitation à se comporter de manière non-coopérative et individualiste, c’est-à-dire à pouvoir gagner en bougeant de la case 1 vers les cases 2 ou 4. L’impossibilité de l’exclusion augmente la chance que des processus purement volontaires de fourniture de bien public soient interrompus.

4.5.3 Une version légèrement modifiée du dilemme du prisonnier

Les rationalités exprimées dans le jeu précédent (Figure 4.5) peuvent toutefois être différentes de celles imaginées en faisant uniquement l'hypothèse de rationalité parfaite. En prenant à nouveau l'exemple des effets résultant de la politique publique de mise en œuvre d'un réseau infrastructurel de bornes de recharges pour véhicules électriques à Paris, et en envisageant certaines des rationalités mises en évidence par les acteurs concernés, nous pouvons obtenir une configuration de jeu suivante (Figure 4.6) :

		Parisien	
		Contribue	Ne contribue pas
Ville de Paris	Contribue	2, 2	-1, 0
	Ne contribue pas	0, -1	0, 0

FIGURE 4.6 – Dilemme du prisonnier représentant la contribution au bien collectif qu'est l'air pur à Paris selon des rationalités différentes

Dans le cas de la Figure 4.6, les rationalités prises en compte par les Joueurs 1 (la Ville de Paris) et 2 (le *Parisien*²¹) sont les suivantes :

- Pour la case 1, les bornes de recharge pour véhicules électriques sont utilisées et les véhicules électriques eux-mêmes ont été achetés et circulent en ville : l'utilité des deux joueurs augmente donc. S'ajoute à cette augmentation une amélioration de la qualité de l'air rendue possible par l'usage efficace²² du véhicule électrique²³ : à la fois l'amélioration de la santé publique et la bonne image que donne la Ville de Paris d'avoir agi pour ces concitoyens à travers la politique publique sont deux événements qui augmentent l'utilité de la communauté collectivement.
- La case 2 indique une absence de changement pour la Ville de Paris n'ayant pas mis en place de bornes de recharge, alors que l'utilisateur - qui a acheté un véhicule électrique mais est incapable de le recharger sur la voirie publique - ressent une perte d'utilité.

21. L'acceptation de ce mot renvoie au paragraphe précédent, lors de la discussion de la figure 4.5.

22. Le terme *efficace* renvoyant ici à un usage fréquent, réfléchi et en adéquation avec la recharge par bornes électriques, selon le principe d'un bien-système territorialisé (Bainée, 2013)

23. Nous faisons par ailleurs l'hypothèse que l'usage du véhicule électrique remplace celui du véhicule thermique, et ne s'ajoute pas à celui-ci.

- La case 4, par symétrie, indique une perte d'utilité pour la Ville de Paris car elle a fait construire des bornes de recharge sur la voirie, mais celles-ci s'avèrent inutilisées, puisque les usagers ne circulent pas en véhicule électrique.
- Enfin, la case 3 met en évidence une inaction en ce qui concerne les deux acteurs : il n'y a ni bornes de recharge installées, ni véhicules électriques achetés. La situation est comme celle du scénario de référence, c'est-à-dire que l'usage continu de véhicules thermiques continue à engendrer une pollution urbaine.

Les deux dernières représentations aux Figures 4.5 et 4.6 mettent en évidence des configurations différentes de jeux d'anticipations d'acteurs économiques, en fonction de leur rationalité quant au souhait d'agir pour profiter du bien collectif qu'est l'amélioration de la qualité de l'air à Paris. Toutefois, elles ne sont pas exhaustives et il est possible d'obtenir des configurations différentes en fonction d'autres éléments susceptibles de modifier l'utilité des deux joueurs comme par exemple :

- d'une part, en ce qui concerne le *Parisien*, le confort de conduite dans un véhicule électrique, son coût d'achat plus important (en l'absence de subventions à l'achat) mais son coût d'usage moindre, ou encore l'autonomie relative d'un véhicule électrique par rapport à un équivalent thermique,
- et, d'autre part, pour l'acteur *Ville de Paris*, la réallocation des ressources à un autre projet public, et l'image d'une ville non-polluée et promouvant la mobilité « propre » et électrique.

Nous faisons le choix de ne pas représenter toutes les configurations de jeux possibles dans cette section car nous pensons qu'elles alourdiraient la discussion qui suit. Cependant, une méthode simpliste - d'attribution homogène d'utilité et de diminution de l'utilité au moyen de +1 et de -1 permet facilement au lecteur de créer des configurations de jeux en fonction des rationalités exprimées ci-dessus et pourquoi pas de ses propres hypothèses. Nous verrons en revanche dans la section 4.5.6 les processus de résolution possible de ces jeux en fonction des hypothèses retenues et des éléments développés dans la section 4.5.1.

4.5.4 Le jeu dit de la « poule mouillée »

Il semblerait que le nom du « jeu de la poule mouillée » fasse référence à un « jeu » très prisé des jeunes délinquants américains dans les années 1950, dans lequel deux automobiles roulent en sens inverse dans une rue étroite, le perdant, qualifié de « poule mouillée », étant le premier conducteur à donner un coup de volant pour monter sur le trottoir et ainsi s'écarter de l'autre automobile (Eber, 2013). Deux éléments sont notables par rapport au dilemme du prisonnier évoqué plus haut :

- d'une part, une situation est clairement la pire pour tous (le cas où les deux véhicules rentrent en collision) ;
- d'autre part, il n'existe pas de solution qui puisse être mise en évidence avec la méthode de la dominance itérée.

Une application au cas d'une politique d'amélioration de la qualité de l'air pourrait être résumée dans la matrice des payoffs de la Figure 4.7 :

- la case 1 représente une augmentation de l'utilité individuelle de chaque joueur par la mise en adéquation de leurs contributions, qui est en plus doublée d'une augmentation de l'utilité collective puisque l'air est moins pollué ;
- les hypothèses faites dans la case 2 concernent l'inaction du joueur 1 qui profite quand même d'une meilleure qualité de l'air, car le joueur 2 a fait l'achat d'un véhicule électrique (qu'il ne peut recharger que chez lui ou à son lieu de travail par exemple) et n'utilise plus son véhicule thermique ;
- la case 4 agit à nouveau comme symétrique de la précédente : le joueur 1 subissant une diminution de son utilité puisqu'il a contribué à une dépense publique qui n'est pas utilisée (personne ne se recharge sur les bornes électriques) alors que les *Parisiens*, n'ayant procédé à aucune action, respirent mieux²⁴ ;
- la case 3 représente quant à elle l'issue désastreuse, que tous souhaitent éviter : personne n'agit et la situation empire tellement que l'air devient de moins en moins respirable.

24. On peut supposer pour cela au moins la configuration suivante : les bornes de recharge électrique étant inutilisées, l'acteur public souhaite augmenter les subventions à l'achat de véhicules électriques et le joueur 2 se retrouve quasiment avec un véhicule électrique neuf sans avoir déboursé pour (la contribution indirecte à travers les impôts ou les taxes locales n'étant pas prise en compte dans ce raisonnement)

		Parisien	
		Contribue	Ne contribue pas
Ville de Paris	Contribue	2, 2	0, 3
	Ne contribue pas	3, 0	-2, -2

FIGURE 4.7 – « **Jeu de la poule mouillée** » représentant la contribution à l'amélioration de la qualité de l'air à Paris

Ce jeu exprime un cas où la recherche de solution doit se faire « case par case », en faisant des hypothèses sur le comportement de l'autre acteur. Par exemple, le joueur 2 se dirait que si le joueur 1 est rationnel, il chercherait à maximiser son utilité et adopterait donc la stratégie *Ne contribue pas*. Dans ce cas, le joueur 2, souhaitant éviter l'issue désastreuse de la case 3, adopterait la stratégie *Contribue*. En fait, les deux équilibres de Nash du jeu de la « poule mouillée » sont les deux solutions non-coopératives (*Contribue, Ne contribue pas*) et (*Ne contribue pas, Contribue*). Ces deux issues ne sont pas du tout optimales pour les deux parties et, en plus, aucune des deux n'est sûre d'être atteinte. Une troisième issue est même plus souvent choisie expérimentalement : il s'agit du choix coopératif (*Contribue, Contribue*). Elle s'explique par le fait que les joueurs font d'autres hypothèses sur la rationalité de leurs partenaires. Par exemple, le joueur 2 suppose que le joueur 1 est averse au risque et ne veut surtout pas être dans la situation désastreuse de la case 3, et qu'il va par conséquent choisir de *contribuer*. En faisant cette hypothèse, le joueur 2 peut alors choisir de ne pas contribuer et de maximiser son utilité uniquement (issue collective sous-optimale) ou de maximiser l'utilité de la communauté en contribuant. L'approche par « équilibre équitable » de Rabin (1993) (détaillée dans la section suivante) confirme d'ailleurs le dernier choix en faisant l'hypothèse que le joueur 2 a de la *sympathie* pour le joueur 1. Il est toutefois important de noter que les solutions du jeu sont très variables en fonction des hypothèses retenues. En particulier, l'explicitation de la rationalité de chaque acteur est nécessaire dans un but coopératif et si l'on souhaite aboutir au résultat optimal de la case 1 L'outil d'aide à la décision CoBAYe propose d'ailleurs de suivre cette démarche.

4.5.5 Le jeu dit de la « chasse au cerf »

Le jeu de la « chasse au cerf » fait référence à un passage du *Discours sur l'origine et les fondements de l'inégalité parmi les hommes* de Jean-Jacques Rousseau. Illustrant par l'exemple

de la chasse les bénéfiques, mais aussi la difficulté de coopération entre les hommes, Rousseau écrit :

« S’agissait-il de prendre un cerf, chacun sentait bien qu’il devait pour cela garder fidèlement son poste ; mais si un lièvre venait à passer à la portée de l’un d’eux, il ne fut pas douter qu’il ne le poursuivît sans scrupule, et qu’ayant atteint sa proie il ne se souciât fort peu de faire manquer la leur à ses compagnons. »

En effet, dans le cas où il y a deux chasseurs (deux joueurs 1 et 2), ils peuvent soit chasser le lièvre (stratégie *B*) et obtenir à coup sûr un maigre butin (un jour de nourriture chacun), soit chasser *ensemble* le cerf (stratégie *A*) pour obtenir un gain bien plus élevé (quatre jours de nourriture chacun) ; mais comme un chasseur isolé ne peut pas attraper un cerf, il ne gagne rien à chasser le cerf si l’autre ne l’aide pas. Le jeu de la Figure 4.8 représente bien cette situation (Eber, 2013).

		Parisien	
		Contribue	Ne contribue pas
Ville de Paris	Contribue	4, 4	0, 1
	Ne contribue pas	1, 0	1, 1

FIGURE 4.8 – « Jeu de la chasse au cerf » représentant la contribution à l’amélioration de la qualité de l’air à Paris

Les issues de la matrice des payoffs de la Figure 4.8 sont données en fonction des hypothèses suivantes :

- la case 1 représente un gain très important à la fois individuel - car la dépense engagée n’a pas été futile - et collectif - car les dépenses ont contribué à la diminution de la pollution. Il est à noter que dans ce jeu, contrairement aux précédents, nous faisons l’hypothèse qu’une amélioration de la qualité de l’air est très bien perçue par les joueurs ;
- les case 2 et 4 représentent à nouveau, de façon symétrique, une perte pour un acteur (causée par une dépense inutile) et une situation inchangée pour un autre ;
- enfin, la case 3 représente le scénario de référence. Pour garder la configuration de la « chasse du lièvre », on peut supposer que rester dans le scénario de référence revient à ne

pas agir et éventuellement allouer l'argent de la contribution (celle de cerf) à une autre dépense (un lièvre).

Le jeu de la « chasse au cerf » est un jeu de coordination qui admet aussi deux équilibres de Nash, représentés par les cases 1 et 3. L'un des équilibres (*Contribue, Contribue*) est d'ailleurs unanimement préféré à l'autre, mais il est aussi plus risqué puisque jouer *Contribue* peut conduire à un gain nul si le partenaire ne contribue pas, alors que *Ne contribue pas* est une stratégie sans risque conduisant à un gain certain d'un point. En effet, ne rien faire et rester dans le scénario de référence nous procure un semblant d'assurance qu'il ne peut rien nous arriver de pire. C'est d'ailleurs pour cela qu'il s'agit bien d'une gain de +1 et non d'une perte, voire d'un gain nul : nous faisons l'hypothèse que la rationalité des agents économiques est différente de celle des jeux précédents, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas à l'esprit que ne rien faire va empirer leur situation et qu'ils préfèrent réserver leur contribution pour une autre dépense. Il y a donc conflit entre l'intérêt commun, qui est de se coordonner sur la stratégie coopérative (case 1) pour gagner 4 points chacun et bénéficier d'un air pur, et la tentation individuelle de jouer *Ne contribue pas* afin d'éviter le risque d'un résultat nul en ayant mené des dépenses inutiles. Les économistes ayant étudié ce jeu ont proposé plusieurs théories sur la sélection des équilibres : une stratégie *payoff-dominant* prédite par Harsanyi et Selten (1988) qui correspond à la stratégie coopérative ou une stratégie *risque-dominant* correspondant à une minimisation du risque (Carlsson et Van Damme, 1993; Harsanyi, 1995). Par ailleurs, en fonction de l'ampleur des payoffs, c'est-à-dire si l'issue coopérative est (4,4) ou (10,10) par exemple, les résultats expérimentaux montrent que certains choisissent toujours la stratégie *risque-dominant* ou la stratégie *payoff-dominant* respectivement (Cooper *et al.*, 1994).

4.5.6 Résolutions et intérêts de CoBAYe

Dans les deux premiers cas, relatifs aux variations du dilemme du prisonnier (Figures 4.5 et 4.6), une méthode de résolution a été proposée par John Nash (1950b) et présentée dans la section 4.5.1. En utilisant la méthode de la dominance itérée, nous pouvons identifier le seul équilibre de Nash de ces deux jeux. Il s'agit à chaque fois du payoff mis en évidence dans la case 3. Dans les deux cas, une propriété fondamentale de cet équilibre est qu'il est « sous-optimal ». En

effet, en jouant tous les deux la stratégie *Ne contribue pas*, chacun des deux joueurs a obtenu moins de points qu'ils n'auraient obtenu en jouant tous les deux la stratégie *Contribue*. Cette propriété est importante car elle implique que la rationalité individuelle des joueurs ne débouche pas forcément sur une rationalité collective. En effet, collectivement, les deux joueurs devraient s'entendre pour jouer la stratégie *Contribue* tous les deux, mais leur individualisme les amène à ne pas collaborer et à opter pour une stratégie finalement pénalisante pour tous les deux. L'équilibre de Nash traduit ici une absence de coopération qui s'instaure « rationnellement » entre deux joueurs libres de leurs choix. L'expression « dilemme du prisonnier » est bien mise en évidence ici car chaque joueur fait face à un dilemme entre sa *rationalité individuelle*, qui lui impose de jouer sa stratégie dominante, c'est-à-dire de ne pas contribuer, et sa *rationalité collective*, qui lui dicte d'adopter la stratégie coopérative et de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air.

Méthodes de résolution comportementales

Le résultat précédent met en évidence l'absence de coopération comme le facteur qui engendre un résultat sous-optimal pour les deux joueurs. Certains économistes ont quand même essayé de chercher une solution de ces jeux en mettant en évidence, d'une part, l'interdépendance entre les choix des deux joueurs et, d'autre part, l'interdépendance de leurs payoffs dans la rationalité des joueurs-mêmes. Ainsi, Rabin (1993) propose par exemple l'approche par le concept d'« équilibre équitable » en faisant l'hypothèse que l'utilité

$$U_i = u_1(x_i)$$

de chaque joueur i ne dépend pas uniquement de ses propres gains x_i , mais dépend aussi des payoffs x_j des autres joueurs $j, j \neq i$. Dans le cas de deux joueurs, il propose ainsi une fonction

$$U_1 = u_1(x_1, x_2) = x_1 + \alpha x_2$$

où α permet de prendre en compte la sympathie ou l'envie (le paramètre α est d'ailleurs parfois appelé « coefficient de sympathie ». Inspirée par Edgeworth (1881), cette fonction d'utilité indique que le joueur 1 a une sympathie pour le joueur 2 si $\alpha > 0$, et une envie si $\alpha < 0$. Rabin (1993) propose ainsi un modèle basé sur les intentions des autres joueurs, inspiré de Geanakoplos *et al.*

(1989) et relevant de ce qui est appelé la *théorie des jeux psychologiques* (Camerer, 2003). D'une manière très générale, ce modèle revient à endogénéiser le coefficient de sympathie α en le faisant dépendre des *intentions* supposées des autres joueurs. Rabin fait ainsi l'hypothèse d'altruisme conditionnel, c'est-à-dire que les joueurs sont altruistes, mais uniquement envers ceux qui le sont également. Ainsi le joueur 1 aura un coefficient de sympathie $\alpha > 0$ dès lors qu'il croit que le joueur 2 est animé de bonnes intentions, et $\alpha < 0$ lorsqu'il anticipe des mauvaises intentions, autrement dit l'individu souhaite un gain élevé à un partenaire ayant de bonnes intentions, mais souhaite un gain faible à un joueur en ayant de mauvaises. Rabin définit ainsi le concept d'« équilibre équitable »²⁵ comme un équilibre de Nash psychologique, c'est-à-dire un ensemble de stratégies et de croyances sur les intentions des autres joueurs tel que :

- aucun joueur n'a intérêt à changer unilatéralement de stratégie étant données les stratégies des autres joueurs et ses propres croyances sur leurs intentions ;
- les anticipations sur les intentions des autres joueurs s'avèrent exactes.

Par conséquent, si chacun anticipe de bonnes intentions chez l'autre, chacun choisira effectivement de coopérer, ce qui induira une confirmation des anticipations de chaque joueur sur les intentions de l'autre : on passe donc de la situation sous-optimale de l'équilibre de Nash à une coopération dans l'équilibre équitable de Rabin. Dans le cas de l'amélioration de la qualité de l'air à Paris, le coefficient de sympathie α se traduirait pour les deux acteurs comme une confiance dans les actions de l'autre joueur, avec l'hypothèse que les intérêts de la Ville de Paris servent ceux des utilisateurs de véhicules électriques, et que les intérêts de ces-derniers permettent à la Ville de Paris d'avoir une image innovante et à la communauté de respirer mieux. Pour cela, la méthode utilisée par Rabin intègre une composante psychologique à l'hypothèse de rationalité parfaite de la théorie des jeux mais la valeur exacte de ce coefficient ne peut pas être trouvée sans que les acteurs concernés ne révèlent eux-mêmes leurs préférences. En particulier, d'autres économistes ont critiqué la méthode de Rabin en argumentant qu'un coefficient de sympathie n'était pas suffisant pour caractériser les anticipations des agents et que d'autres éléments devaient être pris dans les facteurs psychologiques. Ainsi Fehr et Schmidt (1999) proposent l'approche par le concept d'« aversion à l'inégalité », en introduisant des motivations sociales chez les joueurs et

25. « *Fairness equilibrium* » en anglais.

en stipulant que l'utilité du joueur i est de la forme suivante :

$$U_i(x_i, x_j) = x_i - \alpha_i \max(x_j - x_i, 0) - \beta_i \max(x_i - x_j, 0)$$

avec $0 \leq \beta_i < 1$ et $\beta_i \leq \alpha_i$. Le deuxième terme indique alors que l'utilité de l'individu i diminue lorsque son propre gain est inférieur à celui de l'autre joueur (*i.e.* quand $x_i < x_j$) et le coefficient α_i représente un « coefficient d'envie » puisqu'il évalue dans quelle mesure l'individu est sensible au fait que l'autre joueur obtienne *plus* que lui. Le troisième terme indique quant à lui que l'utilité de l'individu i diminue également lorsque son gain est supérieur à celui de l'autre joueur (*i.e.* lorsque $x_i > x_j$); le coefficient β_i représente alors un « coefficient de culpabilité » puisqu'il évalue dans quelle mesure l'individu voit sa satisfaction réduite par le fait que l'autre joueur obtienne *moins* que lui. Enfin, selon l'hypothèse $\beta_i \leq \alpha_i$, le sentiment d'envie est plus fort que celui de la culpabilité.

Application à CoBAYe

Ces deux différents raffinements nous montrent que la prise en compte de facteurs psychologiques a été importante pour d'une part obtenir un payoff qui tienne compte de la rationalité collective plutôt que des rationalités individuelles uniquement et d'autre part pour intégrer aux anticipations des joueurs une composante plus proche du jeu d'acteurs que uniquement celle relative à la rationalité parfaite. Cependant, les coefficients α , α_i et β_i respectifs aux approches de Rabin (1993) et de Fehr et Schmidt (1999) mettent également en évidence le fait qu'il ne s'agit pas d'approches exhaustives. En effet, pourquoi envisager uniquement des coefficients de sympathie, d'envie et de culpabilité? En quoi ceux-ci résumeraient-ils les rationalités des différents joueurs? Nous pensons plutôt que, si l'utilisation de la théorie des jeux souhaite permettre d'anticiper les comportements et les réactions des acteurs économiques, il faudrait qu'elle tienne compte d'autres éléments relatifs aux contraintes et aux utilités propres des joueurs. En particulier, dans une perspective d'aide à la décision dans un registre d'interdépendances entre différentes stratégies - publiques ou privées - manifestées (au moins) par la diversité d'acteurs concernés, l'utilisation de la théorie des jeux psychologiques doit pouvoir expliciter la rationalité propre à chacun de ces acteurs.

C'est une des raisons pour lesquelles nous proposons dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe un processus qui permet de révéler les préférences des différents acteurs concernés par la décision publique, comme il est question dans la section 4.6. En effet, en proposant une décision concertée, avec au préalable une phase d'identification et de discussion des effets de la politique publique par tous les acteurs économiques concernés par la décision, incluant le décideur lui-même, l'outil CoBAYe permet de faire révéler les rationalités des différents *joueurs* à travers l'explicitation de leurs anticipations et de leurs comportements. De surcroît, elle permet ainsi de faire émerger un processus de coordination voire de coopération entre les acteurs pour que chacun se rende compte qu'il a plus à gagner en faisant le choix de la rationalité collective plutôt que sa rationalité individuelle. L'intégration de ces informations dans un jeu du type « dilemme du prisonnier » ou leur simple recensement, de façon structurée spatialement et temporellement, permet alors au décideur d'anticiper ses propres choix, la diversité d'acteurs rendant une explicitation du jeu d'acteurs par la théorie des jeux difficile ou du moins, difficilement praticable.

Par ailleurs, les deux autres configurations de jeu possibles (Figures 4.7 et 4.8) confirment l'intérêt de l'outil d'aide à la décision CoBAYe dans la révélation des préférences. En effet, comme dans le dilemme du prisonnier, la solution de coopération conjointe du jeu de la poule mouillée peut émerger si chaque joueur reconnaît les bénéfices à long terme de la coopération et adopte une stratégie donnant-donnant ou une autre analogue (Taylor et Ward, 1982). Autrement dit, à la fois la Ville de Paris et les *Parisiens* (représentés par l'usager *Parisien*) peuvent reconnaître les dangers inhérents à la stratégie non-coopérative de la dépense unilatérale et négocier directement ensemble afin de tomber d'accord pour suivre une stratégie coopérative. Par conséquent, bien que la structure du jeu de la poule mouillée diffère de celle du dilemme du prisonnier, les solutions optimales du jeu et les implications pour les deux acteurs *Ville de Paris* et *Parisien* sont similaires : elles requièrent une sorte d'accord formel ou tacite pour coopérer. De plus, plus le nombre de joueurs augmente, et plus la chance qu'un accord formel soit nécessaire augmente (Ward, 1987). Par conséquent, pour le jeu de la poule mouillée comme pour celui du dilemme du prisonnier, le besoin de processus de décision multi-acteurs, fondé sur une concertation pour parvenir à des solutions de jeu efficaces et coopératives, s'accroît avec l'augmentation du nombre de joueurs. Les acteurs concernés par la mise en œuvre d'une décision publique pouvant être très nombreux, même en faisant l'hypothèse (forte) qu'ils puissent être rassemblés dans des corps de

métiers par exemple, un outil d'aide à la décision tel que CoBAYe nous semble nécessaire. Enfin, en fondant son analyse sur des résultats expérimentaux du jeu de la « chasse au cerf », Charness (2000) montre quant à lui qu'une communication permet aux joueurs de se coordonner sur le « bon » équilibre, c'est-à-dire la solution coopérative. L'outil CoBAYe permet même d'aller plus loin. En effet, certes il promeut une concertation entre les *joueurs* concernés (voir section 7.2) mais, en plus, même si au cours du processus, les comportements anticipés des différents acteurs sont uniquement proposés sans concertation, ils sont une quantité d'informations importante pour le décideur, et nécessaires pour faire ses choix.

La théorie des jeux fait l'hypothèse de rationalité parfaite des *joueurs*, entendus dans le processus de décision comme les acteurs publics et privés concernés par la mise en œuvre d'une politique publique. Certes, la théorie des jeux psychologiques, par exemple à travers les travaux de Rabin (1993) et de Fehr et Schmidt (1999) a tenté d'y apporter des raffinements, en formalisant des éléments relatifs à la rationalité des joueurs, comme la sympathie, l'envie ou encore la culpabilité qu'ils ressentent envers les payoffs des autres joueurs lorsqu'ils font leurs choix de stratégies, mais nous pensons qu'elle ne peut malheureusement pas tenir compte de la diversité des anticipations propres à tous les acteurs concernés par la décision publique. Ainsi, afin d'avoir une identification plus appropriée des critères qui sont nécessaires à envisager, voire à formaliser, nous proposons à travers l'outil d'aide à la décision CoBAYe - détaillé dans la section 4.6 et les Chapitres 5, 6 et 7 - un processus d'identification et de discussion des effets (et de leur propagation dans le temps) de la politique publique, ce processus étant mené par les acteurs concernés par la décision eux-mêmes, dont le décideur. À travers une discussion concertée (voir section 7.2), nous pensons que cette méthode peut ainsi faire révéler les anticipations et les comportements des différents acteurs économiques, qu'elle peut permettre à chaque agent d'obtenir des informations sur la rationalité (procédurale) des autres et que, par conséquent, elle peut favoriser les coopérations entre ces acteurs : nous passons donc de l'équilibre de Nash, sous-optimal pour toutes les parties, à une issue coopérative du jeu, où la rationalité collective prime sur l'ensemble des rationalités individuelles et dans laquelle les intérêts de chacun sont valorisés et les pertes sont minimisées.

4.6 Identifier l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées avec CoBAYe

Certaines méthodes d'évaluation de projets, par exemple des projets d'infrastructure de transport ou des projets culturels, envisagent une interdépendance d'effets, dont nous présentons quelques exemples dans les paragraphes suivants. Comme les travaux théoriques des sections 4.2, 4.3, 4.4 et 4.5 précédentes, elles sont une source d'inspiration pour la construction de l'outil CoBAYe, même si nous tenons également à nous en démarquer, comme nous le précisons dans les commentaires qui accompagnent les descriptions des méthodes suivantes.

4.6.1 Les effets d'interdépendance dans les méthodes d'évaluation aujourd'hui : inspirations et démarcations

Les « *Wider Economic Effects* »

Certains auteurs définissent des effets économiques au sens large, appelés « *wider economic effects* » ou « *wider economic impacts* » (Banister et Berechman, 2000). Dans le cas de la mise en place d'infrastructures ferroviaires par exemple, Banister et Berechman (2000) considèrent qu'il peut s'agir de (voir section 3.3.3) :

- une augmentation de la vitesse du mode de déplacement,
- une réduction générale des coûts de déplacement,
- une augmentation de l'accessibilité,
- ou encore un accroissement du potentiel économique de centres d'attractivité principaux.

Banister et Berechman (2000) définissent par ailleurs deux façons de mesurer ces « *wider economic impacts* »²⁶ : d'une part comme une augmentation du bien-être total, et d'autre part comme une augmentation de produit national brut (dans le cas de projets ferroviaires).

Dans cette typologie à nouveau, les effets identifiés ne permettent pas de suivre une propagation dynamique, et le décideur n'est ainsi pas en mesure de se rendre compte d'une chaîne de propagation des effets lorsqu'il choisit - ou non - de mettre en place un projet public. Par ailleurs, dans la définition proposée par Banister et Berechman (2000), les « *wider economic*

²⁶ Les termes « *wider economic effects* » et « *wider economic impacts* » sont utilisés de façon similaire par les auteurs (Banister et Berechman, 2000; Vickerman, 2000).

effects » indiquent uniquement des conséquences d'un projet de transport qui sont limitées au seul secteur des transports. Or, cette restriction ne nous semble pas toujours pertinente. Il existe des mesures publiques dont les conséquences peuvent être très variées et agir sur des disciplines et des secteurs très différents et plus étendus que le seul secteur affiché de la mesure elle-même. Si nous reprenons le secteur qui a conduit à la définition des « *wider economic effects* » par exemple, c'est-à-dire le secteur du transport de marchandises ou de personnes par voie ferroviaire, il nous paraît que la construction ou la mise en œuvre d'une ligne de train a des implications non seulement sur la vitesse du train, les coûts de déplacement ou l'augmentation de l'accessibilité, mais que le « potentiel économique » du territoire par lequel traverse la voie ferrée est impacté, et sans doute pas uniquement à l'échelle de ses « de centres d'attractivité principaux ». On peut en effet observer également dans ce cas un accroissement, ou une réduction de la démographie du territoire (en fonction de l'acceptation de la voie ferrée, et surtout de la présence d'une gare sur le territoire). L'emplacement de la voie ferrée et de la gare à l'intérieur, ou à l'extérieur, du territoire peut aussi engendrer des effets différents : un nouvel aménagement urbain, une requalification de quartier - voire même une gentrification dans certains cas - du territoire habité, ou un développement d'activités, autrefois inexistantes, autour de la gare, et plus spécifiquement si celle-ci est en dehors du territoire. Un autre réseau de transports en commun (infrastructures lourdes et plus légères) est aussi à prévoir pour faire la jonction entre l'acheminement des marchandises ou des voyageurs jusqu'à la gare et, par la suite, jusqu'au territoire d'accueil. Celui-ci peut également être refaçonné au gré des infrastructures et des centres d'activité déjà présents alentour. Une ligne ferroviaire qui permet de relier deux villes en faisant un arrêt à un aéroport peut permettre non seulement le développement d'activités touristiques et commerciales pour les voyageurs ou les pendulaires, mais également des activités de support pour le transport de marchandises (centres de dépôt, centres de distribution, que ce soit pour la vente en gros, au détail ou même le courrier postal) et le transport de voyageurs, à travers la construction, l'habitation et le développement de logements et de commerces à proximité des gares, ne serait-ce que pour accommoder le personnel des infrastructures et centres d'activité avoisinants. Ces effets ne sont bien sûr que des exemples : une littérature bien fournie sur les effets engendrés par l'aménagement d'une ligne ferroviaire existe déjà, et il ne sont pas uniquement limités au seul secteur du transport ou à la valorisation du potentiel économique des seuls centres d'activités

existants (Blum *et al.*, 1997; Sasaki *et al.*, 1997; Gutiérrez, 2001; Fröidh, 2005; Givoni, 2006; Campos et de Rus, 2009; Clewlow *et al.*, 2014).

La « méthode des effets »

L'analyse des effets, aussi appelée analyse d'impacts, prend en considération uniquement les effets positifs des projets. Contrairement à l'analyse coûts-bénéfices, il n'y a donc pas d'agrégation ni d'équilibre entre coûts et bénéfices à réaliser après l'identification des effets. De surcroît, il n'y a pas non plus de comparaison avec des politiques publiques alternatives dans l'analyse des effets, voire avec un scénario de référence (voir section 7.3). Une seule décision est envisagée, sans comparaison. Constituée de deux étapes, l'identification et l'évaluation des effets, elle s'efforce surtout de voir quel est l'impact d'une décision ou d'une mesure publique possible sur l'économie²⁷.

Initialement, l'analyse des effets a été réalisée aux Etats-Unis à la fin des années 1970, et reprise par la suite au Royaume-Uni dans les années 1980. En particulier, dans ces contextes budgétaires difficiles, elle a surtout été utilisée pour évaluer les effets de politiques culturelles sur l'économie, et en faire ressortir tous les bénéfices possibles, dont la capacité à engendrer des revenus ou à créer des emplois, au cas où il fallut justifier la mise en œuvre de ces politiques culturelles. En particulier, « la quantité d'effets est toujours grande ; on découvre souvent des projets qui rapportent près de dix fois la mise de fonds initiale, ce qui est sympathique par les temps qui courent » (Grefe, 1997, p.69). Ainsi, aux États-Unis, l'analyse des impacts économiques de la vie artistique sur la ville de Baltimore (Cwi et Lyall, 1977) a été le premier rapport qui utilisa l'analyse d'impact. Son but était de fournir des instruments d'évaluation au « *National Endowment for Arts* », l'autorité en charge de la gestion du patrimoine artistique national, afin de justifier les dépenses culturelles dans la construction d'un budget national. Une dizaine d'années plus tard, les économistes britanniques se sont aussi emparés de l'outil, toujours pour l'évaluation de politiques culturelles, toujours à travers la rédaction d'études sur l'importance des arts au sein des régions britanniques par exemple (Myerscough, 1988). Cette étude ne se restreignait pas aux considérations des seuls effets d'une manifestation culturelle ou de la construction ou du

27. Cette section est adaptée de (Grefe, 1997), dont la présentation nous a paru la plus pédagogique pour expliquer les choix qui nous ont amené à définir des effets directs, indirects et induits (voir section 4.6.2).

développement d'un monument, mais envisageait de façon plus étendue l'effet global du secteur de la culture sur une zone géographique plus grande (comme la région du *Merseyside*, au nord-ouest de l'Angleterre, dans l'ouvrage pré-cité). L'analyse a été menée en considérant les dépenses internes au territoire mais aussi celles qui en sortent, ce qui a nécessité une distinction et une délimitation du territoire sur des critères politiques et budgétaires. Par ailleurs, le multiplicateur utilisé pour identifier les revenus et les emplois créés a permis de différencier à la fois les emplois qui sont liés à l'offre même de biens et services culturels, mais également les emplois qui étaient relatifs aux dépenses des établissements culturels, et qui ont, par conséquent, une implication sur un autre secteur que la culture (dans le cas de l'étude, le nombre d'emplois créés était le même pour chaque catégorie). Cette distinction, bien qu'elle ne soit pas idéale du fait du multiplicateur employé, est importante car elle se démarque de nombreux autres outils d'aide à la décision dans le sens où l'impact de la décision publique sur d'autres secteurs que celui affiché par la politique (dans le cas de l'étude : le secteur culturel) est aussi étudié. Cette idée de considérer la décision publique, dans les cas où cela semble judicieux, évidemment, comme une action sur un système tout entier, sera bien volontiers reprise et adaptée dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

Description de la méthodologie de l'outil. L'analyse des effets utilise une typologie en deux étapes :

1. En premier lieu, l'étape d'identification des effets. Certaines analyses d'impacts préfèrent procéder par l'identification des types d'acteurs concernés avant celle des bénéficiaires tandis que d'autres essaient de prendre en considération les bénéficiaires directement. Les différences entre les analyses des effets se situent donc dans la présence ou l'absence d'un lien que certains analystes tissent entre les agents économiques et les bénéficiaires identifiés.
2. En second lieu, la méthode de l'analyse des effets requiert une étape d'évaluation. Toutefois, celle-ci est assez différente de celle de l'analyse coûts-bénéfices. En particulier, elle ne nécessite pas d'actualisation des différentes grandeurs mesurées par exemple et, de ce fait, elle passe outre les discussions quant au taux d'actualisation le plus adéquat. Par ailleurs, la méthode d'analyse des effets utilise souvent un multiplicateur d'impact (multiplicateur d'emplois ou multiplicateur de dépenses par exemple) pour évaluer les effets : le choix

des paramètres du multiplicateur est donc très important car de lui dépend l'ampleur des résultats.

Les bénéfices directs, indirects et induits. Greffe (1997) définit trois types de bénéfices pour analyser des effets, en proposant des exemples liés aux politiques culturelles qui ont fait l'objet d'analyses :

1. **Les bénéfices directs** peuvent correspondre à deux éléments :

- (a) soit aux dépenses des bénéficiaires des produits culturels, ou toutes les recettes obtenues par les organismes qui ont la charge la gestion des institutions et monuments culturels, c'est-à-dire les droits d'entrée, la location de matériels audiovisuels, les achats à l'intérieur de musées, mais aussi les subventions, les donations et les « participations libres », fréquentes au Royaume-Uni par exemple ;
- (b) soit les dépenses faites par les organismes de gestion de ce patrimoine culturel dans le milieu local, ce qui correspond en quelque sorte aux coûts de production des activités culturelles : achats de matières premières, dépenses d'entretien, paiements des salaires par exemple.

La différence entre les deux méthodes de calcul tient en quelque sorte au « taux de rentabilité » des activités culturelles. Si le taux est égal à 1, les deux méthodes sont équivalentes et fournissent le même résultat en valeur absolue. Si le taux est inférieur (ou supérieur) à 1, cela signifie l'existence de « fuites dans le circuit économique local » (Greffe, 1997, p.73) ou de profits engendrés par les organismes de gestion du patrimoine culturel respectivement. Par ailleurs, une distinction peut être faite dans la raison même qui pousse les analystes à utiliser l'une ou l'autre des deux méthodes de calcul.

- (i) En effet, dans le premier cas, l'analyste se concentre sur les effets d'un monument ou d'une activité du patrimoine culturel du territoire considéré sur l'activité du pays, mesurée par exemple en termes de revenus pour le territoire en question, voire même l'État.
- (ii) Dans le deuxième cas, l'objectif de l'analyste est plutôt de mettre en valeur les effets des activités culturelles sur l'environnement local et comment elles participent à la

construction de la vie économique du territoire, puisqu'elle permet d'envisager les effets sur le territoire de ceux qui lui sont extérieurs.

2. **Les bénéfiques indirects** correspondent aux dépenses qui ne sont pas directement créées par la satisfaction des besoins culturels obtenue par la consommation des biens et services proposés par les organismes de gestion du patrimoine culturel du territoire considéré. Elles correspondent par exemple aux dépenses effectuées par les demandeurs du patrimoine à l'occasion de leur voyage ou de leur séjour pour accéder au monument, incluant des frais d'hôtels, de restaurants, de voyage par exemple. Cette caractérisation des bénéfiques indirects tient compte des interdépendances existantes avant la mise en place du projet, et reste ainsi assez proche du concept d'externalité.
3. **Les bénéfiques induits**, que Greffe (1997) appelle aussi « retombées » sont ceux qui sont susceptibles de se produire grâce au projet et qui ne sont pas comptabilisés au sein des bénéfiques directs ou indirects. Les bénéfiques induits sont donc des bénéfiques qui sont définis comme compléments de la typologie plutôt que par une définition extensive²⁸. Il peut d'agir des bénéfiques liés à un marché de biens ou de services marchands - comme par exemple l'installation de nouvelles activités dues à l'effet d'attraction de la rénovation d'un monument culturel, ou le développement de nouveaux métiers qui bénéficieront à d'autres agents économiques et qui, par la suite, n'auront plus rien à voir avec le développement d'activités liées au patrimoine culturel - mais aussi non-marchands - comme par exemple l'amélioration du cadre de vie des résidents. Il s'ensuit qu'une quantification de ces effets peut être ardue, au même titre que l'étape de valorisation monétaire de l'analyse coûts-bénéfices d'ailleurs.

Commentaires pour une inspiration dans CoBAYe

Un multiplicateur ? De la même façon qu'en analyse macroéconomique, une dépense de consommation additionnelle engendre une variation du revenu global de l'économie nationale, il se peut que la réalisation d'une dépense de consommation liée à la présence d'un élément de patrimoine dans un territoire donné engendre une variation du revenu local. Mais l'usage du concept de multiplicateur est-il pertinent ? L'idée d'utiliser un multiplicateur qui permet de « rapport[er] près de dix fois la mise de fonds initiale » ne sera bien évidemment pas reprise

28. L'outil CoBAYe propose une autre définition, comme présentée en section 4.6.2.

dans CoBAYe, car la détermination des coefficients inhérents au multiplicateur est sujette à de nombreux biais, notamment dans leur construction (Myerscough, 1988).

Une comparaison des bénéfices et des coûts Par ailleurs, CoBAYe s'inscrit dans une visée pas forcément budgétaire, mais quand même à cheval sur les bénéfices et surtout aussi les coûts qui sont relatifs au décideur et aux acteurs économiques impliqués par la mesure publique. En particulier, s'interroger uniquement sur les bénéfices, comme dans le cas de la méthode des effets, ou seulement sur les coûts, comme dans le cas de l'analyse coûts-efficacité, n'est pas envisagé. L'outil d'aide à la décision CoBAYe a une visée de comparaison des bénéfices et des coûts entre le scénario de la mise en place de la décision publique et un scénario « au fil de l'eau », dans lequel sont représentés les événements qui se déroulent au cours de la durée de l'évaluation, mais sans mise en place du projet public, autrement dit, ce qui se serait passé si le projet public n'avait pas été mis en œuvre (voir section 7.3).

Quel territoire prendre en considération ? En outre, le territoire envisagé dans les analyses d'effets sont variés. Il s'agit parfois du seul territoire « d'accueil » de la politique publique (par exemple la ville de Baltimore), et parfois de ce territoire d'accueil et des contingences associées via les interactions entre les communes connexes et même à des échelles différentes (par exemple la région du *Merseyside* en entier et son implication à l'échelle nationale). Le territoire est donc défini au gré des besoins au sein de ces analyses des effets, et la méthodologie - comme d'ailleurs dans le cas de l'analyse coûts-bénéfices - ne précise pas de « guide » pour savoir quand envisager un territoire plutôt qu'un autre. L'outil d'aide à la décision CoBAYe propose quant à lui de systématiquement définir à la fois le territoire qui sera le creuset de l'évaluation, ses acteurs et leurs interactions économiques internes, auxquels viennent s'ajouter des éléments extérieurs au territoire : cette définition sera traitée au sein de ce que l'on appelle la « structure topo-économique (STE) du territoire »²⁹.

Une valorisation monétaire ? Enfin, les biais sur la valorisation - et même sur la prise en compte de certains effets sont très semblables à ceux utilisés pour attribuer une valeur monétaire à un effet environnemental engendré par une politique publique, notamment lorsque cet effet

29. Une définition et une description de la STE est présentée en section 6.2.3.

caractérise un marché dans lequel sont échangés des biens ou des services non-marchands et pour lesquels il faut faire intervenir des méthodes appelées « indirectes » de valorisation monétaire, comme celles des coûts de transport ou de déplacement³⁰ et celle des dépenses de protection³¹ par exemple (voir section 2.5). Dans ces deux cas, les coûts évalués par ces méthodes peuvent représenter des dépenses qui auraient été effectuées non pas pour raisons environnementales mais pour d'autres raisons, professionnelles ou privées³² (Diamond et Hausman, 1994; Harris, 2006).

4.6.2 Les effets d'interdépendance dans CoBAYe : effets directs, indirects, induits et « *opportunity benefits* »

Les éléments théoriques et opérationnels des sections précédentes nous ont permis dans cette section de définir les outils que nous proposons pour identifier les effets d'interdépendance entre acteurs économiques et secteurs d'activité lors de la mise en place d'une politique publique. En particulier, le concept que nous souhaitons proposer dans cette section est la prise en compte de l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées dans l'évaluation même de la politique publique. En effet, les analyses coûts-bénéfices pratiquées actuellement se limitent souvent à l'évaluation des effets directs de la politique, entendus comme les effets liés aux objectifs de politiques qui ont été décidées et mises en place (y compris en termes de moyens), sans autre intervention complémentaire des pouvoirs publics. Certains analystes prennent aussi en compte les effets indirects, c'est-à-dire ceux liés aux conséquences des effets directs, à structure topo-économique constante³³. La prise en compte de ces effets est-elle suffisante pour conduire une évaluation ? À partir du moment où la politique publique que l'on souhaite évaluer engendre des effets sur d'autres politiques publiques et des stratégies privées, qui ne seraient pas apparues sans la politique initiale, pourquoi ne pas les prendre en compte dans l'évaluation ?

30. La méthode des coûts de transport ou de déplacement cherche à mesurer le coût de transport réellement dépensé par des individus pour venir à un endroit spécifique. Il peut par exemple s'agir de la distance que sont prêts à parcourir les individus pour profiter d'un paysage ou d'un objet.

31. La méthode des dépenses de protection cherche à mesurer combien les individus sont prêts à payer pour ne plus subir une atteinte environnementale. Il peut par exemple s'agir du coût d'un déménagement pour ne plus subir une pollution sonore par exemple.

32. Dans le cas des méthodes de protection, on peut par exemple imaginer que le déplacement aurait été effectué pour des raisons de proximité familiale ou de rapprochement d'un établissement scolaire et, *a priori*, sans rapport avec des effets environnementaux.

33. Ce terme est défini dans la section 6.2.3.

L'outil d'aide à la décision CoBAYe s'inspire pour cela du processus utilisé dans les analyses inputs-outputs pratiquées en méso et macroéconomie pour évaluer l'impact de politiques publiques (voir section 4.4). Cela se traduit par la proposition d'une typologie d'effets qui intègre non seulement des effets directs et indirects, mais aussi des effets induits, qui modifient les structures économiques à l'échelle nationale, et dont l'évaluation nous permet ainsi de tenir compte des potentialités de croissance et de destruction créatrices associées à une politique publique. À titre d'exemple, à l'échelle locale, l'évaluation de l'impact des politiques fiscales d'accueil des sociétés auxiliaires en Suisse (i.e. des sociétés qui déploient l'essentiel de leurs activités commerciales à l'étranger) est un cas parmi tant d'autres, de recours à ces trois types d'effets pour évaluer une politique publique au niveau du Canton de Genève (Nilles, 2012). A l'échelle nationale, c'est par exemple l'impact des politiques de soutien au secteur des télécommunications à haut et très haut débit aux États-Unis d'Amérique (Atkinson, 2007) ou en France (Lantner et Le Goff, 2009) qui a été évalué en mobilisant cette même typologie, dans le but d'envisager les effets en termes de croissance du PIB de ces politiques économiques ou industrielles. À la différence des effets indirects, qui sont des conséquences des effets directs à structure économique constante (les coefficients du Tableau d'Échanges Interindustriels sont inchangés), les effets induits sont une conséquence des effets directs qui contribuent à une modification de la « structure topo-économique d'ensemble du territoire »³⁴ concerné. Ils nécessitent une décision volontaire de renoncement à une autre politique publique ou stratégie d'un agent économique (entreprise, ménage...), ou d'adoption d'une autre politique ou stratégie. Des exemples concrets tirés des scénarios étudiés pour la Mairie de Paris en matière de transport et d'amélioration de la qualité de l'air, seront donnés dans les applications de l'outil développées aux Chapitres 8, 9 et 10 afin de bien cerner les différents types d'effets.

Dans le but d'identifier à la fois les acteurs concernés et les conséquences de la politique publique à évaluer, nous proposons une typologie des effets suivants : directs (DE), indirects (IE) et induits (UE)³⁵. Le mot « effet » désigne ici :

- soit la conséquence d'une action ou d'un comportement (si l'évaluation au moyen de CoBAYe est utilisée *ex-post*) ;

34. Ce terme est défini dans la section 6.2.3.

35. Ce vocable s'inspire dans les termes de celle de la méthode des effets, mais elle s'en démarque de façon assez prononcée, en particulier dans le cas des effets induits.

- soit l’anticipation d’une action ou d’un comportement (si l’évaluation par CoBAYe est utilisée *ex-ante*)³⁶.

La typologie utilisée pour les effets à identifier en utilisant l’outil CoBAYe est la suivante :

- **Les effets directs** sont les effets liés aux objectifs de la politique qui a été décidée et mise en place (y compris en termes de moyens), sans autre intervention complémentaire des pouvoirs publics.
- **Les effets indirects** sont les conséquences des effets directs, à structure topo-économique constante³⁷, c’est-à-dire en fonction des interdépendances qui existent déjà au sein de la structure topo-économique considérée.
- Enfin, **les effets induits** sont liés à :
 - (a) des politiques, actions et activités publiques qui pourraient voir le jour, dans le cadre de mesures d’accompagnement, d’encadrement ou de développement (par exemple, parce qu’ils sont transformés en aires piétonnes, certains quartiers peuvent nécessiter une requalification urbaine, en mettant l’accent sur la sécurité civile la nuit) ;
 - (b) des politiques, actions et activités publiques qui existaient avant la nouvelle configuration, et qui n’ont maintenant plus lieu d’être (par exemple, dans le cadre extrême d’une ville sans voitures (ou d’une politique de stationnement très souple), les parcmètres ne seraient plus nécessaires) ;
 - (c) des activités privées qui pourraient être rendues possibles grâce à la mise en place de la politique initiale d’amélioration de la qualité de l’air (par exemple, des entreprises de location de vélo peuvent voir le jour, après la mise en place de quartiers piétonniers et cyclables) ;
 - (d) *a contrario*, des activités privées pourraient être supprimées, si elles ne sont plus considérées comme « rentables » dans la nouvelle configuration (par exemple, le développement des voitures de location peut être freiné si une politique d’amélioration de la qualité de l’air se traduit par un renforcement de l’offre *Autolib’* à Paris).

36. Dans les applications présentées en section 9 et 10, l’utilisation de CoBAYe est présentée *ex-ante*, puisqu’elle est utilisée en tant qu’outil pour aider à la décision. Une évaluation *ex-post* pourra être menée trois ans après la mise en place d’une de ces deux politiques publiques par exemple, pour évaluer les coûts et les gains perçus, et éventuellement anticiper une évolution de la politique en question.

37. Ce terme est défini dans la section 6.2.3.

Les effets induits découlent donc quant à eux des effets directs et sont liés aux changements (majeurs) de structures topo-économiques (STE). En toute rigueur, on peut distinguer d'une part ceux qui entraînent un changement de STE, ce sont les effets induits de type I; et ceux qui émergent grâce aux conditions que propose la STE dans une nouvelle période, que nous appelons effets induits de type II.

Par ailleurs, en raison de choix budgétaires réalisés à l'horizon temporel qui caractérise la prise de décision, certaines actions publiques sont inhibées et parfois même, en raison de certains de ces choix, la politique publique mise en œuvre aboutira à des économies dans le futur par l'absence de nécessité de mettre en place d'autres mesures publiques. En particulier, on peut distinguer (Figure 4.10) :

- des politiques publiques qui auraient pu être mises en place, et auxquelles il a fallu renoncer, en raison du choix alternatif d'allocation des ressources matérielles et humaines (par exemple en mettant en place une « *Low Emission Zone* » au lieu de développer un réseau plus important de pistes cyclables, ou de bornes de recharge publiques pour véhicules électriques). Elles correspondent à des bénéfices non obtenus, tout en supportant les coûts de la politique choisie ;
- et des politiques publiques qui ont été évitées, grâce au choix réalisé (ne pas mettre en place une politique sanitaire dans trois ans, par exemple, parce que les résultats de la politique d'amélioration de la qualité de l'air rendraient ces mesures inutiles) ;

Par ailleurs, à ces différents effets (i.e. les effets induits, et les effets dus aux politiques publiques qui ont été abandonnées et évitées), il faut de surcroît ajouter les synergies entre les politiques publiques et les stratégies privées interdépendantes à des horizons temporels et à des échelons territoriaux différents. C'est alors qu'on pourrait obtenir des « *opportunity benefits* », dont nous pensons que la prise en compte est nécessaire dans une démarche d'évaluation systémique de politiques publiques. Représentés en Figure 4.10, ces « *opportunity benefits* » peuvent être définis comme l'agrégation :

- des effets induits de type I, caractérisés par un changement de structure topo-économique : par exemple l'arrivée sur le marché des opérateurs de mobilité d'une nouvelle entreprise d'autopartage électrique, faisant concurrence à Autolib' ;

- des effets induits de type II, c'est-à-dire ceux qui émergent grâce aux conditions de la nouvelle structure topo-économique (donc dans une autre *période*³⁸ : par exemple un nouveau mode de comportement de mobilité de la part de citoyens qui, grâce à une interaction constante entre le numérique et la mobilité, utilisent leur « compte » numérique sur le portail des opérateurs pour réserver un véhicule et sa future place de stationnement pour leurs trajets à l'intérieur du périmètre d'action des services d'autopartage³⁹).
- des politiques publiques qui auraient pu être mises en place, et auxquelles il a fallu renoncer lors de la décision de la politique publique qui est évaluée, à la manière des coûts d'opportunité ;
- des politiques publiques qui ont été évitées grâce aux objectifs atteints (si tel est le cas) de la politique publique qui est évaluée⁴⁰ ;
- en outre, ces effets peuvent être des conséquences d'actions menées à des échelles territoriales différentes : en effet, une politique publique départementale à Paris peut influencer sur le fonctionnement de comportements de mobilité à l'échelle de la Région Île-de-France (à travers le Plan de Déplacements Urbains en Île-de-France par exemple) ou même à l'échelle nationale (une interdiction de circulation pour véhicules diesel accompagnée d'incitations pour les véhicules électriques induit des changements de production automobile chez les constructeurs par exemple) ;
- enfin, ces effets peuvent également avoir lieu à des horizons temporels différents, manifestés par des *périodes* (voir section 6.2.3) différentes, et il nous paraît essentiel d'envisager également les effets anticipés à des horizons temporels futurs dans le processus d'évaluation, comme en témoigne la prise en compte des effets induits sur plusieurs *périodes*.

L'agrégation de ces effets sous le terme d'« opportunity benefits » permet ainsi de proposer un cadre spatio-temporel systémique d'évaluation qui, en fonction des caractéristiques du processus de concertation dans lequel il est utilisé, permet d'obtenir des informations structurées, et en provenance d'acteurs différents, pour aider à la prise de décision.

38. Les sections 6.2.3 et 6.4.1 définissent rigoureusement les conditions d'application de ces concepts et expliquent par la même occasion leurs usages.

39. Des services de covoiturage, comme covoiturage.fr ou Blablacar proposent déjà la réservation d'un « siège » sur un véhicule enregistré sur le portail correspondant et dont le conducteur accepte de « covoiturer ».

40. Des exemples de ces deux derniers points sont donnés en Figure 4.9.

Ainsi, une nouvelle typologie incluant ces « *opportunity benefits* », est proposée dans l’outil d’aide à la décision CoBAYe pour identifier les effets directs, indirects et induits qui peuvent être engendrés par la décision de mettre en place une politique publique. Quelques exemples donnés dans la Figure 4.10 sont destinés à illustrer⁴¹ ce que donnerait l’utilisation d’une telle typologie par exemple pour une politique de mise en place de bornes de recharge pour véhicules électriques, destinée à améliorer la qualité de l’air, en utilisant les catégories proposées et en réalisant des tests d’interdépendances des fonctions d’utilité des agents concernés. Ces effets peuvent être ceux des politiques publiques ou des activités privées. Leur identification permet aussi de connaître les acteurs impactés, ce qui résout ainsi une des limites soulevées par Dorfman et Rothkopf (1996) et Weimer (2008), quant à la définition du groupe de personnes pertinent à prendre en compte dans la CBA.

4.7 Conclusion

Toute politique transversale, c’est-à-dire dont les conséquences se retrouvent sur de multiples secteurs et modifient les comportements de nombreux acteurs, est susceptible d’engendrer des interdépendances entre ceux-ci. Contrairement à l’analyse coûts-bénéfices standard (voir le Chapitre 3), la prise en compte de ces interdépendances est une des valeurs ajoutées de l’outil d’aide à la décision CoBAYe. Pour cela, nous avons cherché à identifier quels sont les travaux théoriques et opérationnels qui nous permettent de construire une typologie d’identification pratique de ces effets.

Le modèle du Tableau économique de Quesnay (1758) est probablement le premier en Europe à fournir une compréhension formalisée du concept d’interdépendances de marchés et d’acteurs sur un même territoire, notamment à travers le lien entre ces acteurs, leur fonction dans l’économie et leurs actions qui influent sur d’autres, mais aussi à travers le rôle de l’activité industrielle dans l’économie, et de sa faculté d’adaptation et de réaction en fonction des investissements « publics » (section 4.2). Une de ses inspirations est l’équilibre général de Walras (1874) qui, contrairement à l’équilibre partiel, envisage l’interdépendance des marchés dont les prix se forment simultanément et rétroagissent. Cette caractéristique est reprise dans l’outil CoBAYe pour qui,

41. Une application plus complète est présentée aux Chapitres 9 et 10

Effets de la mise en oeuvre d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris

<p>« Opportunity Benefits », entendus comme : (1) les effets induits, (2) leur interdépendance à des échelles spatiales et temporelles différentes, dans une approche systémique, et (3) les politiques publiques abandonnées et évitées</p>	<p>Création d'interdépendances par les productions ou consommations intervenant ou complémentaires de la politique initiale</p> <p>Structure topo-économique changée</p>	<p>Induits (création/suppression)</p> <p>Les effets induits sont aussi une conséquence des effets directs. Contrairement aux effets indirects, ils peuvent : (1) soit découler d'une modification de la structure topo-économique du territoire concerné; (2) soit contribuer à une modification de la structure topo-économique du territoire concerné. Ils apparaissent à un horizon temporel plus ou moins éloigné des effets directs et indirects.</p> <p>a. Politiques d'accompagnement, d'encadrement ou de développement décidées a posteriori</p> <p>b. Politiques, actions et activités qui existaient et qui n'ont plus lieu d'être</p> <p>c. Activités privées rendues possibles par la nouvelle configuration</p> <p>d. Activités privées supprimées par la nouvelle configuration, car non "rentables"</p> <p>Politiques publiques qui ont été abandonnées Elles correspondent à des bénéfices non obtenus</p> <p>Politiques publiques qui ont été évitées grâce à la décision initiale prise</p>	<p>ex. La mise en place d'une « Low Emission Zone » au lieu d'une politique de mise en place d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge, avec l'hypothèse que ces deux politiques suivent le même objectif</p> <p>ex. Certaines mesures ne sont plus nécessaires si Paris n'est plus polluée</p>
<p>Interdépendances pré-existantes</p> <p>Structure topo-économique inchangée</p>	<p>Indirects</p> <p>Les effets indirects sont la conséquence des effets directs, à structure topo-économique constante. Ils peuvent être plus ou moins décalés dans le temps par rapport aux effets directs.</p>	<p>Directs</p> <p>Les effets directs sont liés aux objectifs de politiques qui ont été décidés et mises en place (y compris en termes de moyens), sans autre intervention complémentaire des pouvoirs publics.</p>	<p>ex. Création de bornes de recharge sur le territoire parisien</p> <p>ex. Augmentation du nombre de subventions à l'achat de véhicules électriques accordées</p>

FIGURE 4.9 – Méthodologie CoBAYe : outil d'aide à la décision appliqué à la politique publique de mise en place d'un réseau de bornes de recharge sur le territoire parisien (voir Chapitre 9).

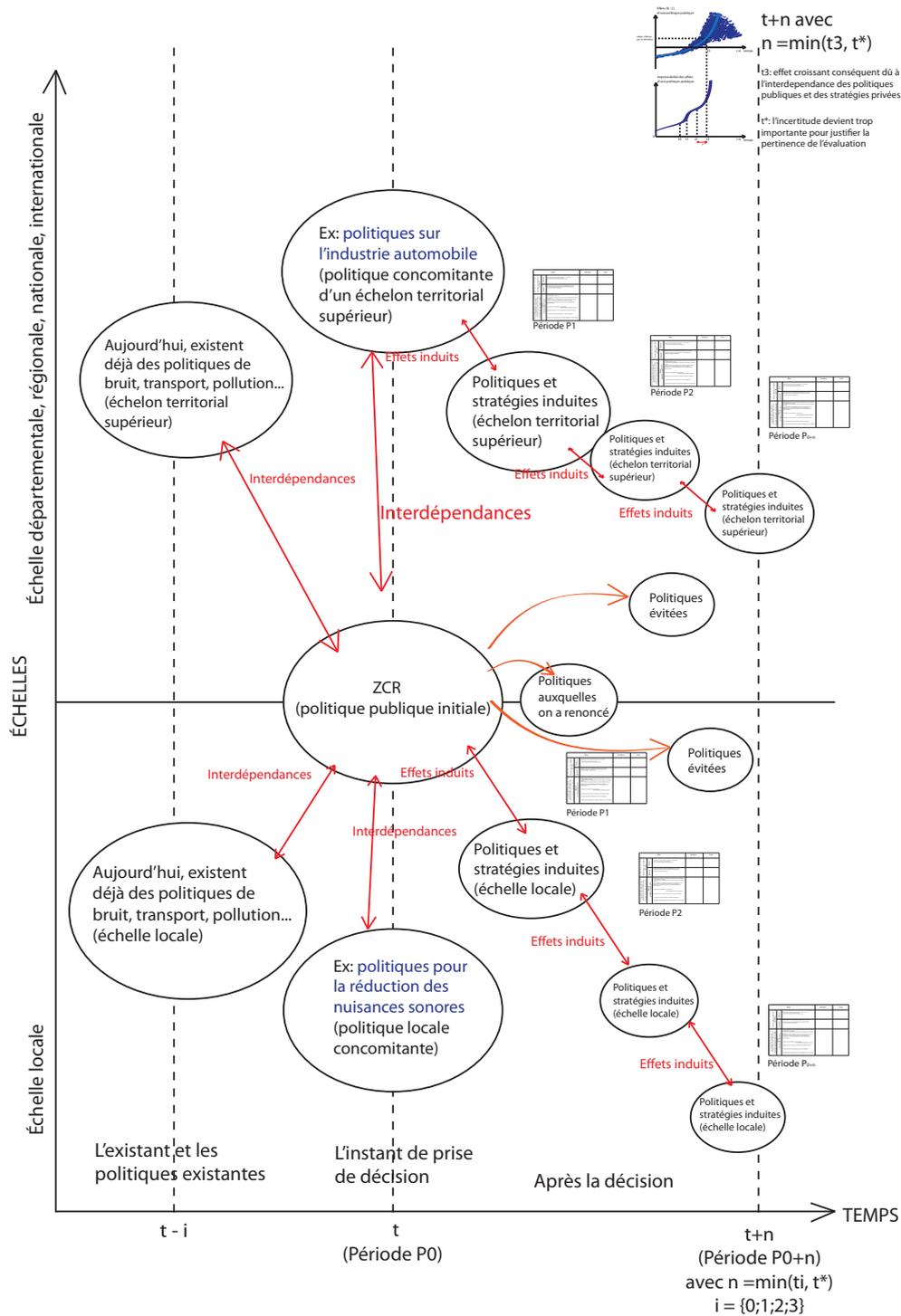


FIGURE 4.10 – Méthodologie CoBAYe : prise en compte des « opportunity benefits » (voir Chapitre 10).

pour un territoire donné, les anticipations, comportements et actions de ses différents agents sont mus par les interdépendances existantes et créées entre les biens et services disponibles, mais aussi leurs fonctions de production et de consommation (section 4.3). Cette volonté de prendre en compte les secteurs de l'économie de façon exhaustive dans un modèle descriptif est également à l'origine du tableau entrées-sorties de Leontief (1937) : son analyse « input-output » marque alors les interdépendances par des *coefficients techniques* quantitatifs, initialement fixes mais pouvant éventuellement être modifiés par des données empiriques recueillies ou par des méthodes heuristiques, d'indexation ou comportementales qui essaient de tenir compte des effets d'innovation dans ces coefficients pour les actualiser (section 4.4). La modélisation de l'économie permise par Leontief inspire largement l'outil CoBAYe dans le cas où l'évaluation est à structure topo-économique inchangée (voir section 6.2.3) c'est-à-dire à une étape statique de l'analyse. Enfin, même si les interdépendances entre plusieurs acteurs en théorie des jeux sont dépendantes de l'hypothèse de rationalité parfaite, les apports théoriques de l'analyse de quelques *jeux* ont permis de mettre en évidence des effets de coopération et de concertation entre les acteurs (section 4.5), ce qui a confirmé notre souhait d'accompagner la typologie de l'outil d'aide à la décision d'un processus complet et systémique d'évaluation notamment fondé sur un processus de concertation (voir section 7.2).

Une analyse de certains outils d'évaluation existants a également permis de s'appuyer en partie sur les « Wider Economic Effects » de Banister et Berechman (2000) (pour la prise en compte des externalités économiques et la construction des *effets indirects*) et sur la méthode des effets décrite par Greffe (1997) (pour la distinction entre les caractéristiques directes, indirectes et induites) afin de construire la typologie d'identification des effets de l'outil d'aide à la décision CoBAYe (section 4.6.1). Néanmoins, aucune de ces deux méthodes n'a envisagé l'évaluation dans un cadre spatio-temporel en accord avec le territoire réceptacle de la politique publique en question. C'est essentiellement pourquoi nous avons proposé :

- une typologie d'identification des anticipations ou des conséquences de comportements ou d'actions des acteurs concernés par la politique à évaluer à travers des effets *directs*, *indirects* et *induits* ;
- la prise en compte des « *opportunity benefits* », qui s'inscrivent dans la définition d'un cadre spatio-temporel systémique de la démarche d'évaluation.

Chapitre 5

La prise en compte de l'incertitude dans CoBAYe

5.1 Introduction

Les économistes qui traitent de l'incertitude ont tendance à l'attribuer au monde, objectif et extérieur, qu'ils décrivent parfois comme étant incertain. Toutefois, nous pensons que l'incertitude ne doit pas uniquement être considérée comme un attribut intrinsèque de l'écoulement temporel, mais plutôt lié à un moment spécifique dans l'histoire humaine et la situation dans laquelle les individus se trouvent eux-mêmes à ce moment-là. Par conséquent, cette vision de l'incertitude met davantage l'accent sur le statut subjectif de l'agent dans l'économie, et les conditions dans lesquelles la connaissance et l'action sont possibles (Levine, 1997). Aussi, dans le processus d'aide à la décision CoBAYe, nous supposons que la subjectivité est une part intégrale de l'analyse économique, et c'est pourquoi l'individu et en particulier la subjectivité de ses choix sont au cœur de cet outil d'aide à la décision.

Si nous faisons l'hypothèse que chaque individu agit de façon subjective, et si nous faisons l'hypothèse qu'il est soumis à une rationalité procédurale, alors nous ne pouvons pas être certains ni de ses préférences, ni de son degré de satisfaction lors de la réalisation d'une action, ses préférences n'étant ni exogènes, ni indépendantes de ses choix et de ses actions (March et Simon, 1958) (voir section 1.5.1) : « nous ne savons [alors] pas, tout simplement » (Keynes, 1937). Nous

sommes donc en incertitude radicale (voir section 1.4.1). Et c'est cette incertitude radicale qu'il nous semble nécessaire de prendre en compte dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe. En effet, dans notre vision du processus politique de mise en place d'une mesure publique par le décideur d'une part, et de la réaction des acteurs économiques concernés - qu'ils soient publics ou privés - chaque comportement, chaque choix et chaque décision est purement subjectif et dépend de la rationalité de chaque acteur. Or, comme il nous est impossible de connaître les préférences de ces agents économiques sans entrer dans des mécanismes d'anticipation sous l'hypothèse de rationalité parfaite, nous ne pouvons identifier *ex-ante* leurs comportements et les effets de cette mesure publique que par une approche concertée, en faisant au préalable l'hypothèse que les individus interrogés et participants de la concertation sont eux-mêmes au courant de leurs préférences. Le processus proposé par l'outil CoBAYe requiert donc des acteurs concernés par la mesure publique qu'ils mettent en avant les actions qu'ils ont l'intention de mener comme réaction à celle-ci au cours d'une première *période*¹, puis de réagir dans une deuxième *période* aux actions qui viennent d'être menées, et ainsi de suite, jusqu'à que le collège d'acteurs soit d'avis qu'une évaluation à des horizons temporels futurs n'est plus pertinente. Bien évidemment, l'analyste qui utilise l'outil CoBAYe aura à l'esprit que les préférences formulées par les agents économiques dépendent de leur rationalité, dont l'outil fait l'hypothèse qu'elle est procédurale, c'est-à-dire que l'outil fait l'hypothèse que les agents économiques auraient peut-être mené des actions différentes s'ils avaient eu une information plus fournie au moment de la formulation de leurs choix et décisions.

Ce chapitre présente dans la section 5.2 comment l'outil d'aide à la décision CoBAYe propose de tenir compte de l'incertitude. La section 5.3 montre en détail une méthode de construction des scénarios des effets identifiés par la typologie proposée au paragraphe 4.6.2, et la section 5.4 explique les raisons et les sources les plus communes de l'existence d'un horizon temporel, noté t^* , après lequel l'évaluation n'est plus pertinente.

1. Le sens de la *période* signifie un horizon temporel au cours duquel l'interaction entre les structures économique et géographique du territoire - appelée et définie plus en détail en section 6.2.3 par le terme *structure topo-économique du territoire* - est stable. De façon pratique, elle correspond donc au laps de temps au cours duquel un acteur économique peut voir et percevoir comment évoluent le territoire, les individus qui le composent et leurs actions pour le façonner ; cette période lui procure donc un fondement à partir duquel il lui est possible d'anticiper des effets ou de prévoir un comportement ou une action.

5.2 Comment prendre en compte l'incertitude dans CoBAYe ?

5.2.1 Comment évalue-t-on actuellement ?

Nous partons de l'hypothèse où l'individu qui prend une décision est en situation de rationalité limitée, ou de « rationalité procédurale » au sens de Simon (1947)². Une évaluation *ex-ante* de l'action publique peut alors être perçue comme une procédure lui permettant d'obtenir des informations avant de faire son choix. En particulier, les défenseurs de l'analyse coûts-bénéfices voient eux-mêmes dans cet outil un processus d'aide à la décision qui a pour but de fournir plus d'informations au décideur (voir Zerbe Jr. et Dively (1994), Zerbe Jr. (2007) et le Chapitre 2). Toutefois, en menant cette analyse, les évaluateurs font comme si chaque agent était en situation de « rationalité parfaite », alors que les choix du décideur politique, tout comme ceux de chaque agent concerné par la politique qui serait mise en place, sont incertains, au sens où ils relèvent du caractère humain de l'individu. Nous n'essayons donc pas dans cette partie de traiter de la prise de risque, vue par certains auteurs (Pindyck, 2007; Cabantous *et al.*, 2009) comme une incertitude probabiliste, mais bien de l'incertitude, dont la forme la moins calculable est l'incertitude radicale, au sens de Knight (1921) (voir aussi section 5.3).

Les analyses coûts-bénéfices pratiquées aujourd'hui évaluent une politique publique sur une durée qui correspond aux caractéristiques financières et technologiques de l'objet étudié (voir Chapitre 3). En effet, l'évaluation porte sur une durée d'exploitation d'infrastructures (Boîteux, 2001), une durée correspondant à la disponibilité de données (Praznocy, 2012), une durée décidée arbitrairement (Chevasson, 2007; Cabanne, 2010), ou une durée qui fait écho à des plans directeurs qui émanent d'échelons territoriaux supérieurs (Praznocy (2012), par exemple, effectue une étude jusqu'en 2020 pour avoir une cohérence avec le Plan national vélo 2012-2020). Nous essayons donc de répondre à la question suivante : la durée d'évaluation de la politique publique doit-elle - comme c'est le cas actuellement - être choisie de façon exogène, ou bien cette durée d'évaluation doit-elle, au contraire, être endogène au processus même d'évaluation de la politique à évaluer, c'est-à-dire fondée sur le calendrier des effets ? L'avenir est incertain par définition, et il s'impose aux décideurs. De plus, l'incertitude liée à la décision est d'autant plus marquée que les décideurs sont empreints d'une part de rationalité cachée, voire d'irrationalité, qui a trait

2. La section 1.5.1 traite plus en détail de la rationalité procédurale.

au caractère humain - « hégélien » - de ces décideurs³). La durée d'évaluation ne devrait-elle pas plutôt tenir compte de ces caractéristiques ? Le concept que nous souhaitons proposer et développer à travers l'outil d'aide à la décision CoBAYe est une méthode d'identification de l'horizon temporel au-delà duquel il devient déraisonnable de poursuivre l'évaluation, *i.e.* au-delà duquel l'aversion à l'incertitude du décideur le dissuade de toute prise de décision. Cela constituerait ainsi un changement de paradigme en théorie de la décision, puisque cet horizon temporel est désormais déterminé de manière endogène dans le modèle d'aide à la décision proposé dans cette Partie II.

5.2.2 La durée d'évaluation est déterminée de manière endogène au processus d'évaluation CoBAYe

Pindyck (2007) distingue trois déterminants de l'incertitude dans la prise de décision : « ces complications sont cruciales pour des politiques environnementales, mais généralement moins importantes pour la plupart des autres décisions privées et publiques » :

1. La non-linéarité complète des courbes représentatives des fonctions de coûts et de bénéfices : il se peut que les dégâts soient à peine perceptibles pour des niveaux de pollution très bas, mais qu'ils deviennent très importants voire même catastrophiques une fois qu'un palier (incertain) est franchi. L'accident nucléaire de Fukushima, en mars 2011, est un exemple parlant et dramatique de cette non-linéarité. Les coûts de dépollution peuvent suivre de façon similaire une telle courbe. Pour Pindyck, il est donc impossible d'utiliser des « valeurs prévisibles », en ayant supposé au préalable la forme de la courbe dans le futur.
2. L'existence de deux types d'irréversibilité dans les politiques environnementales : les coûts irrécupérables (« *sunk costs* ») et les bénéfices irrécupérables (« *sunk benefits* »), qui correspondent à des coûts et des bénéfices de politiques antérieures, et dont certains décideurs peuvent être tentés de tenir compte lors du choix de mettre en place des politiques publiques futures.
3. La longueur conséquente des horizons temporels au bout desquels certains bénéfices (ou coûts) sont perceptibles, parfois de l'ordre de la centaine d'années dans le cas du réchauf-

3. « Rien de grand ne s'est produit dans le monde sans passion » (Hegel, 1830, éd. cit. p.160, trad. cit. p.70)

fement climatique. L'incertitude liée aux horizons temporels très longs va de pair avec l'incertitude liée au choix du taux d'actualisation idéal.

Nous pensons également que le temps a un rôle primordial à jouer dans l'évaluation d'une politique publique : à quel horizon temporel faut-il arrêter d'évaluer les coûts et les bénéfices de cette politique ? Nous proposons à travers l'outil d'aide à la décision CoBAYe une méthode permettant la détermination de cet horizon.

Nous proposons donc d'évaluer une politique publique sur une durée déterminée de manière endogène ; cette durée dépendant de l'imprévisibilité des effets de cette politique.

Dans un certain sens, une des idées de Pindyck est reprise, pour être complétée. En effet, nous mettons aussi en évidence la non-linéarité inhérente à la courbe représentative de l'imprévisibilité des effets d'une politique publique : nous faisons l'hypothèse qu'il existe des seuils temporels au-delà desquels la prévisibilité des effets de la politique publique à évaluer est considérablement réduite, et nous préconisons d'arrêter l'évaluation quand cette prévisibilité devient « déraisonnable ».

Dans la construction de cette courbe (Figure 5.1), nous distinguons cinq étapes :

(a) Fig. 5.1 (a) : Juste après la mise en place de la politique publique, les effets qui en découlent sont relativement prévisibles ; l'imprévisibilité augmentant à mesure que le temps s'écoule. Cette relative prévisibilité des effets dure jusqu'à un certain horizon temporel, appelé t_0 . Ces effets, prédominants juste après la mise en place de la politique publique, sont des effets directs et indirects, définis de la manière suivante⁴ :

- Les effets directs sont liés aux objectifs de politiques qui ont été décidées et mises en place (y compris en termes de moyens), sans autre intervention complémentaire des pouvoirs publics ;
- Les effets indirects sont les conséquences des effets directs, à structure topo-économique constante.

4. Cette définition est également proposée en section 4.6.2.

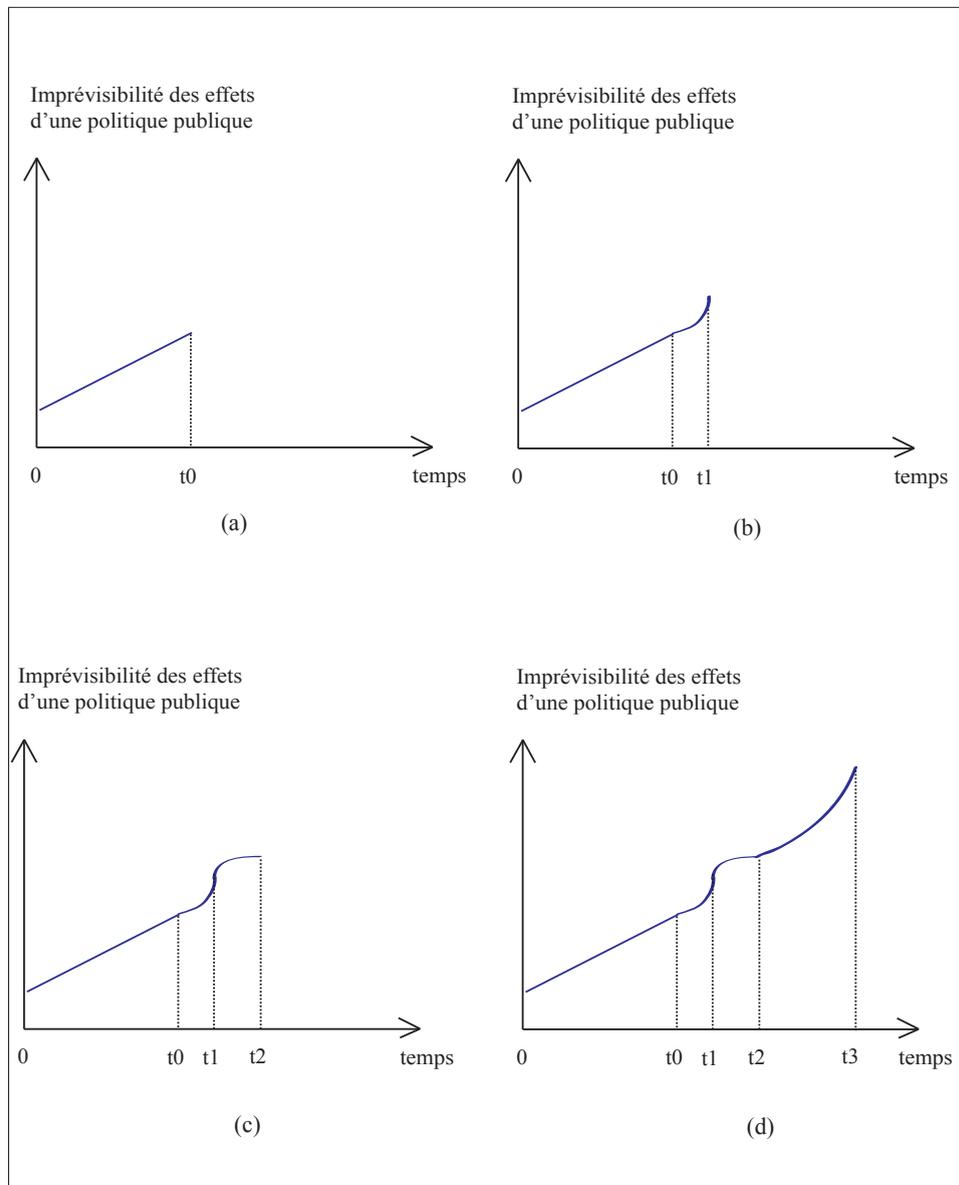


FIGURE 5.1 – Description des étapes temporelles de l'imprévisibilité des effets de la politique publique à évaluer

En effet, on considère que l'horizon temporel est le plus propice à la prévisibilité des effets sur $[0 ; t_0]$, c'est pour cette raison que la représentation de la courbe est linéaire. Il se peut qu'elle ait toutefois une légère convexité ou concavité, en fonction de la prévisibilité à l'instant 0 : lorsque la politique est mise en place. La courbe définie sur $[0 ; t_0]$ représente les effets les plus prévisibles de la politique publique à évaluer, dominants juste après la mise en place de la politique publique.

Les processus qui se déroulent entre t_0 et t_2 sont similaires à certains phénomènes de régulation observés dans le monde des organismes vivants et décrits par des biochimistes grâce à la cinétique des réactions enzymatiques allostériques. En termes simplifiés, un organisme vivant peut sécréter une enzyme afin de contrôler un paramètre physiologique, mais si la sécrétion est très rapide, les effets de cette enzyme n'apparaissent que progressivement, avec un décalage temporel, ce qui explique une courbe en forme de S (qu'on appelle aussi de type « sigmoïde »). Dans ce cas, par analogie avec ce phénomène physiologique, nous proposons l'explication suivante :

- (b) Fig. 5.1 (b) : L'horizon temporel t_0 marque le moment où il est possible d'observer l'apparition des effets dus à l'interdépendance des politiques publiques, qui viennent s'ajouter de manière dominante. En effet, la politique publique initiale a eu le temps d'engendrer chez les divers agents économiques des stratégies privées – dues à des effets d'anticipation ou de réaction, par exemple - mais aussi la mise en place d'autres politiques publiques, par exemple des politiques d'encadrement, dans le cas où le décideur veut réagir à des conséquences de la politique publique initiale, qu'il n'aurait pas prévues. La convexité de la partie de la courbe définie sur $[t_0 ; t_1]$ indique que ces effets d'interdépendances sont d'autant plus importants que le temps s'écoule. Par ailleurs, comme nous l'avons montré au Chapitre 3, ces effets dus à l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées sont généralement omis dans les analyses coûts-bénéfices pratiquées.
- (c) Fig. 5.1 (c) : À l'apparition des effets croissants de l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées, il se peut que le décideur anticipe une partie de ces effets, et engage des politiques publiques qui permettent de limiter leurs effets négatifs aux impacts exponentiels. Les anticipations éventuelles du décideur, dans le cas où la courbe représentée

sur $[t_0 ; t_1]$ est connue, sont alors représentées par une courbe concave, cette fois, qui indique que le décideur peut - en partie - prévoir les effets dus à l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées sur $[t_0 ; t_1]$. Cette partie de courbe n'est pas permanente, toutefois, car d'autres interdépendances peuvent se mettre en place : c'est pour cette raison que nous supposons l'existence d'un horizon temporel t_2 , après lequel les effets dus à l'interdépendance redeviennent prédominants, *i.e.* qu'ils accroissent l'imprévisibilité plus fortement qu'avant t_2 . En outre, nous pouvons même imaginer - bien que nous ne l'ayons pas représenté sur la courbe - une « série d'étapes $[t_0 ; t_1]$ et $[t_1 ; t_2]$ », représentant une alternance continue entre effets d'interdépendance accroissant l'imprévisibilité (« étape $[t_0 ; t_1]$ ») et effets d'anticipation et de régulation (« étape $[t_1 ; t_2]$ »), un peu à la manière de l'alternance entre stratégies privées de transgression et politiques publiques de contrôle.

Les trois étapes précédentes (Fig. 5.1 (a), (b) et (c)) s'inscrivent dans un univers probabiliste. En effet, la prévision des effets est appréhendable par un analyste, car ils relèvent d'une programmation politique ou stratégique. De façon opérationnelle, il est possible de trouver une probabilité de réalisation des différents effets et, par conséquent, de construire la courbe associée.

(d) Fig. 5.1 (d) : La partie de la courbe représentée sur la plage de temps $[t_2 ; t_3]$ met en évidence un effet croissant de l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées. En effet, à partir d'un horizon temporel (appelé t_2 ici), les effets dus à l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées, suite à la mise en place de la politique initiale à évaluer, peuvent être de moins en moins prévisibles. On peut donc obtenir une courbe convexe, qui exprime une imprévisibilité de plus en plus importante⁵. On commence alors à échapper à la programmation politique et stratégique pour entrer dans un univers radicalement incertain, comme le montre la Figure 5.2.

(e) Fig. 5.2 : À partir d'un horizon temporel (noté t_3), les effets dus à cette interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées deviennent totalement aléatoires. Plus le temps

5. En toute rigueur, l'effet croissant de l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées se traduit par une fonction d'imprévisibilité croissante, mais pas forcément à dérivée croissante. Le cas de la fonction convexe présentée dans ce paragraphe n'est qu'un exemple destiné à accentuer l'importance de ces effets d'interdépendance.

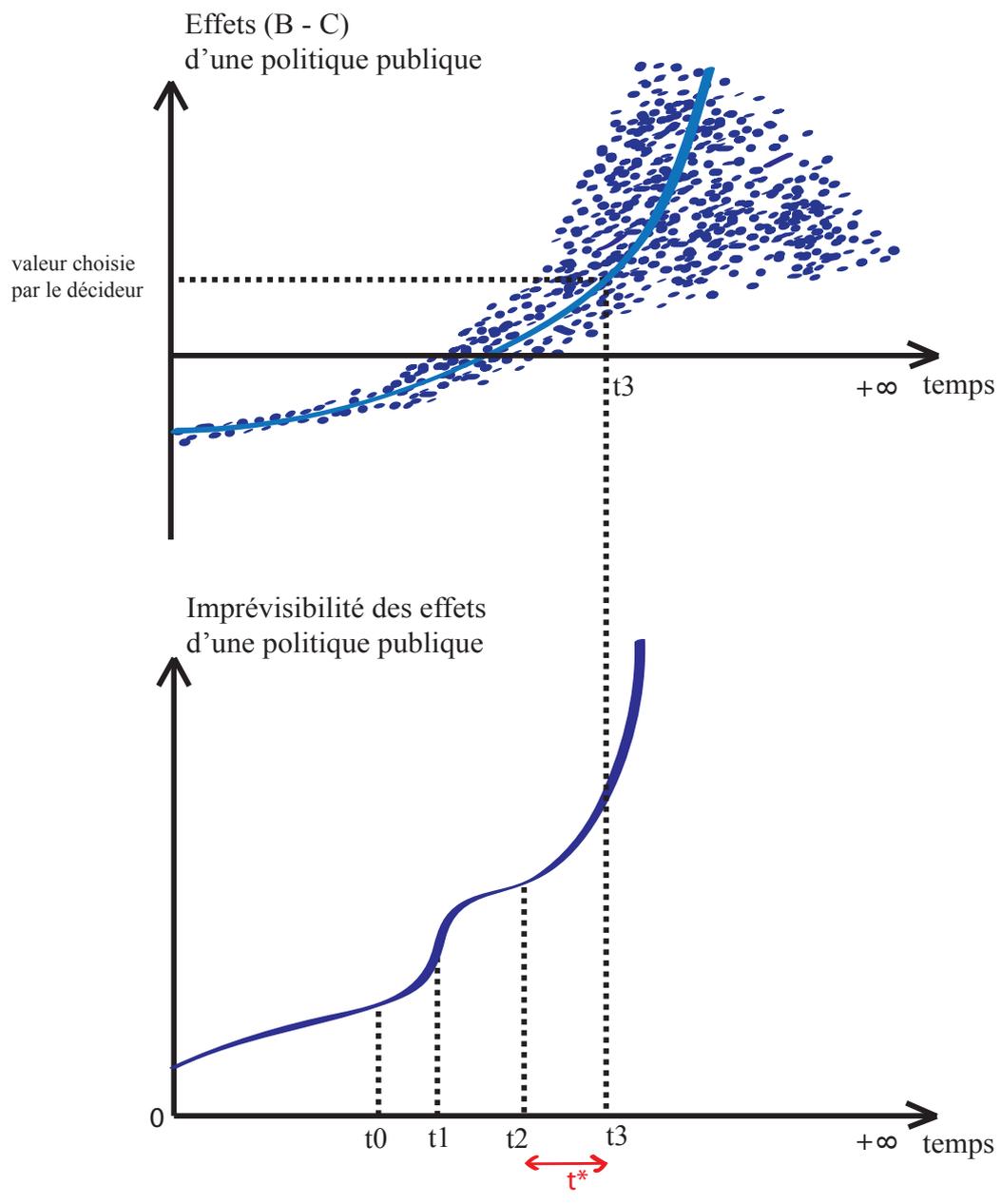


FIGURE 5.2 – La Figure 5.2 fait apparaître la sortie de l'univers probabiliste pour entrer en incertitude radicale

s'écoule, et moins les effets sont prévisibles : on serait en présence d'une incertitude non seulement sur la prévisibilité de ces effets, mais sur ces effets eux-mêmes (une incertitude sur l'incertitude), ce qui aboutirait à un éventail d'incertitude, comme représenté sur la partie de la courbe définie sur $[t_3 ; +\infty[$. De façon opérationnelle, si avant t_3 il était possible de trouver une probabilité de réalisation des effets, cela n'est cette fois plus possible à partir de t_3 et la construction de la courbe associée n'est plus réaliste.

Nous pensons en effet que la situation dans laquelle s'inscrit la mise en place de la politique publique à évaluer ne s'effectue pas uniquement en présence d'une incertitude probabiliste, mais aussi d'une incertitude non-probabilisable⁶. Celle-ci est due d'abord à la rationalité limitée, ou cachée, du décideur public et des différents agents économiques concernés dans la situation d'interdépendance de politiques publiques et de stratégies privées. Ensuite, cette incertitude radicale est caractéristique de ces contingences s'exerçant sur les décideurs placés de fait en situation d'information incomplète. Les effets de leurs décisions sont par conséquent plus incertains, et moins prévisibles. À chaque horizon temporel, ce n'est donc pas une unique valeur qui est obtenue, mais une multitude de valeurs, dont l'étalement autour de la valeur d'origine (celle déterminée si la rationalité n'était pas limitée, *i.e.* celle déterminée comme dans la Figure 5.2) augmente à mesure que le temps s'écoule.

L'évaluation de la politique publique, grâce à la méthode présentée dans le paragraphe suivant, permet donc d'identifier le début de l'éventail d'incertitude des effets de cette politique. Il est alors suggéré au décideur de choisir un horizon temporel t^* , inférieur à t_3 , en fonction de son aversion à l'incertitude : l'évaluation de la politique publique s'arrêtera alors à t^* .

Cette courbe, qui reste qualitative dans un premier temps, exprime l'imprévisibilité des effets de la politique à évaluer, caractérisée par des horizons temporels bien déterminés. Ainsi, nous mettons en évidence ces horizons temporels endogènes au processus d'évaluation de la politique publique en question et qu'il nous paraît indispensable de déterminer avant d'effectuer une évaluation de cette politique publique. En effet, au-delà d'un certain horizon temporel, il deviendrait irréaliste de prévoir les effets de la politique publique à évaluer, que ce soit à cause

6. Il peut d'agir de l'incertitude radicale, telle que définie par Knight (1921) (voir section 1.4.1), mais aussi d'une incertitude caractérisée par d'autres sources, comme le montre le tableau 5.2.

de l'imprévisibilité des effets dus à l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées, ou à cause du caractère incertain de la prise de décision, du décideur public ou des agents économiques concernés. Aussi, nous proposons un changement de paradigme en théorie de la décision : l'horizon temporel au-delà duquel il n'est plus possible scientifiquement de poursuivre l'évaluation *ex-ante* d'une politique publique, est désormais déterminé de manière endogène au sein même du processus d'évaluation proposé par l'outil CoBAYe.

5.3 La construction du scénario d'évaluation avant l'horizon temporel t^*

La discussion en section 5.2.2 montre que la durée d'évaluation des effets identifiés par les acteurs concernés lors du processus CoBAYe doit être déterminée non pas de façon exogène ou arbitraire, comme c'est le cas actuellement (voir le Chapitre 3 et la section 5.2.1), mais plutôt en tenant compte des anticipations, des comportements et des rationalités propres aux acteurs concernés eux-mêmes par la politique publique étudiée. En effet, nous pensons que le processus d'évaluation tel que défini par l'outil d'aide à la décision CoBAYe est *endogène* dans le sens où c'est au cours du processus même que les acteurs, de façon concertée, se prononcent d'une part quant aux effets de la politique qu'ils anticipent et, d'autre part, surtout sur la durée qu'il leur semble pertinente pour poursuivre l'évaluation, celle-ci étant déterminée en fonction de leur rationalité. En faisant l'hypothèse que la situation de la prise de décision est « complexe » (Simon, 1976a), en ce sens que l'information n'y est ni totalement précise ni parfaitement disponible (voir section 1.5.1), nous admettons que le comportement des agents économiques - et en particulier ceux qui se trouvent parties prenantes de la décision, est caractérisé par leur rationalité procédurale : ils se trouvent donc dans une démarche de « *search* » et de « *satisficing* » (Simon, 1955) avant de faire leur choix (voir les sections 1.5.1 et 5.4). C'est sous cette forme de rationalité que nous proposons alors d'imaginer quelles seraient les raisons pour lesquelles il existe un certain horizon temporel après lequel, pour chaque effet (et pour chaque acteur qui l'étudie), il n'est plus pertinent de procéder à une évaluation, l'imprévisibilité caractérisant cet effet étant jugée trop importante par l'acteur qui l'étudie. Pour chaque effet, chacun des agents économiques participant au processus de décision propose ainsi sa durée d'évaluation (notée t^* en section 5.2.2), qui est soumise à une

concertation : le décideur fera alors le choix de retenir celle qui lui paraît la plus pertinente en fonction, lui aussi, de sa rationalité procédurale. Enfin, avant cet horizon temporel d'évaluation ainsi déterminé pour chaque effet, nous proposons, en s'appuyant également sur la section 1.4, une méthode de construction de scénarios d'évaluation, résumée dans le tableau 5.1.

Tableau 5.1 – Éléments de construction des scénarios d'évaluation avant t^*

Pour construire les scénarios d'évaluation

Probabilités objectives	Données statistiques du passé Règles Conventions Routines
Probabilités subjectives	
Concertation	

Pour chaque effet identifié, avant de déterminer l'horizon temporel t^* adéquat, chaque acteur peut proposer une probabilité d'occurrence d'un effet ainsi qu'un scénario sur son ampleur anticipée, en particulier les agents économiques dont le changement de comportement engendre cet effet. La formulation de ces probabilités d'occurrence a plusieurs sources, que nous évoquons brièvement dans les paragraphes suivants (voir aussi tableau 5.1).

Nous pensons que la discussion qui a lieu entre tous les acteurs concernés par l'action publique lors du processus de concertation proposé par l'outil CoBAYe permet de mettre en évidence des scénarios d'évaluation pour chaque effet, c'est-à-dire à la fois :

1. la détermination de l'horizon temporel t^* au-delà duquel l'évaluation n'est plus considérée comme pertinente,
2. la détermination des probabilités d'occurrence et d'ampleur de l'effet considéré,
3. et aussi, lorsque la technique le permet, le choix à la fois d'un indicateur de mesure et d'une méthode de valorisation monétaire.

Plusieurs configurations sont alors possibles :

- Tous les acteurs réfléchissent en aparté à un scénario d'évaluation, en structurant leurs idées en fonction des trois composantes ci-dessus dans un premier temps, puis en les partageant au groupe des acteurs parties prenantes ;
- Le modérateur du processus de concertation (par exemple le décideur lui-même s'il le souhaite) donne la parole à chacun pour faire naître des éléments de consensus au fil même de la discussion ;
- Bien sûr, d'autres méthodes de décision participative peuvent être employées en fonction des contraintes du décideur et du nombre de participants par exemple. Des méthodes peuvent même être construites par les décideurs ou les analystes qui ont la charge de l'évaluation de la politique publique (voir Noce (2009) et la section 7.2).

La discussion sur les méthodes de valorisation monétaire ayant déjà été présentée en section 2.5 et celle sur la détermination de l'horizon temporel t^* ayant lieu en section 5.4, nous nous concentrons dans ce paragraphe sur la « deuxième étape » pour trouver un scénario d'évaluation, c'est-à-dire la détermination des probabilités d'occurrence et d'ampleur de l'effet envisagé.

1. Dans un premier temps, nous pensons pour cela que l'usage de données du passé ou en provenance de métropoles étrangères, obtenues au moyen d'analyses comparatives sur des politiques de même envergure et correspondant à des objectifs similaires, peut permettre d'obtenir des informations supplémentaires pour faciliter le choix du décideur.
2. Dans un deuxième temps, l'usage de règles, de conventions et de routines joue également un rôle prépondérant dans la détermination des valeurs des probabilités des effets identifiés.
3. Enfin, les probabilités subjectives peuvent évidemment aussi être déterminées par des idées qui sont propres aux participants et adéquates à l'effet envisagé et à la structure topo-économique du territoire considéré. Un exemple de scénario d'évaluation construit pour chaque effet est donné en section 7.4.4.

5.3.1 L'utilisation des données du passé

Dans ce cas, l'incertitude est traitée la décision comme un « choix face à l'incertitude limitée⁷, c'est-à-dire limitée [...] par ce que notre conscience réflexive du monde et de l'histoire et de ses événements nous apprend à concevoir comme possible » (Vickers, 1994, p.105). Ainsi, « l'incertitude limitée » au sens de Vickers n'est ni l'incertitude au sens de Keynes, car elle ne signifie pas que ce que l'individu fait n'est pas plus que son envie viscérale vers l'action plutôt que l'inaction, ni la certitude au sens de l'équilibre général, pour lequel ce que l'individu fait doit toujours aboutir au résultat escompté. L'incertitude limitée est, au contraire, une incertitude bornée par la connaissance et, de ce fait, elle nie toute opposition inhérente entre la connaissance et l'incertitude. L'incertitude limitée se situe ainsi entre, d'un côté, l'incertitude caractérisée par le fait que nous ne savons pas, tout simplement, mais que nous voulons quand même agir et, d'un autre côté, la certitude - au sens de l'équilibre général - que toutes les actions que l'on mène nous dirigent vers le résultat escompté. Il s'agit en effet de l'incertitude liée au fait que l'on sait ; c'est-à-dire que nos connaissances, nos traditions et notre histoire nous incitent à agir d'une certaine façon et à concevoir que le résultat de nos actions sera donc réalisé comme par le passé (*i.e.* si une action a eu un certain résultat par le passé, il est fort possible qu'il en soit de même à nouveau maintenant). Par ailleurs, ce même raisonnement pousse parfois les décideurs à s'appuyer sur des analyses comparatives d'autres métropoles ayant mis en place des décisions similaires à celle dont il est question pour les aider à faire leur choix, éventuellement même par analogie (Gavetti *et al.*, 2005) : ces données permettent en effet de donner un aperçu de ce à quoi on peut s'attendre dans la Structure Topo-Economique (STE)⁸ envisagée et permet par conséquent de formuler des probabilités objectives sur l'occurrence et l'ampleur de certains effets⁹.

5.3.2 L'utilisation des règles, des conventions et des routines

Les résultats du processus d'évaluation du décideur ou des acteurs parties prenantes de la décision peuvent en grande partie être déterminés à l'avance par l'histoire, les coutumes et la

7. « *Bounded uncertainty* » en anglais.

8. La définition d'une STE est proposée en section 6.2.3.

9. La distribution de probabilités étant en partie nécessaire pour caractériser la transposition des résultats d'une métropole à une autre, c'est-à-dire d'une STE à une autre, avec en plus la particularité qu'il s'agit de territoires différents intrinsèquement.

tradition¹⁰. Cette hypothèse peut d'ailleurs régir à plus d'un titre des techniques de production d'entreprises industrielles ou des façons de procéder au sein de petites, moyennes et même de grandes structures, avant l'apport d'une innovation de procédés ou d'organisation.

Même si l'individu ne sait pas, il doit agir, et pour cela, il doit décider. Or, pour décider, Keynes suggère que l'individu peut faire appel à une « convention », selon laquelle il fait l'hypothèse que l'état actuel des choses suivra sa tendance, « sauf dans la mesure où il a des bonnes raisons d'anticiper un changement » (Keynes, 1936, p.152). Plus cette convention régirait l'action, plus il est possible d'anticiper une « continuité et une stabilité » dans les affaires économiques. Pour Keynes, tant que la convention est efficace, l'action fonctionnera souvent correctement. Et si c'est effectivement le cas, cela signifierait que, alors que le monde ne peut pas être organisé d'une manière telle que la convention rend une parfaite connaissance possible ou même significative, elle ne justifie pas non plus que l'incertitude radicale suggérée par Keynes est l'attitude la plus réaliste à l'égard de cette action.

Par exemple, la complexité que met en avant Simon désigne le fait que les individus doivent faire face à l'incertitude de la situation actuelle et aux difficultés de sa perception, sachant qu'ils souffrent plus d'un excès d'informations que d'un manque (voir section 1.5.1). Or, les difficultés de cette perception s'aggravent lorsque les agents doivent se coordonner, notamment dans le cas de la prise d'une décision collective. March et Simon (1958) proposent alors que la façon dont les individus se saisissent du problème et le structurent dépend de la fonction occupée dans une organisation. Ils en déduisent ainsi l'intérêt des règles qui guident le comportement dans un collectif : l'action ne se déduit plus de la décision rationnelle, *i.e.* la maximisation de son utilité, mais plutôt de la règle en usage dans l'organisation.

Ainsi, en faisant l'hypothèse que les actions des agents économiques sont régies par des coutumes, des traditions, des règles et des habitudes, un analyste peut bénéficier d'une prédiction relativement aisée du comportement des acteurs économiques, pour peu qu'il soit en mesure de connaître et d'avoir à disposition des données passées, qu'elles soient sous forme écrite et balisées

10. Même dans un monde moderne dans lequel la règle primaire est le changement, le recours aux coutumes et à la tradition - obstacle *a priori* du changement - semble être une des raisons qui affectent le comportement des agents économiques.

ou même orales, obtenues au moyen d'interviews par exemple. En particulier, en se plaçant dans ce cadre, le processus d'identification des effets d'une politique publique et de ses conséquences, tel que prévu dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe, est relativement aisé si l'identification des acteurs concernés est au préalable réalisée avec pertinence et si ces-derniers sont disponibles, volontaires ou même parties prenantes pour participer à la construction des effets de la mesure publique en fonction de leurs routines passées, privées et professionnelles.

5.3.3 Des buts et des décisions subjectifs

Nous faisons ici l'hypothèse que l'agent économique participant au processus de décision a des buts et des procédures internes de décision subjectifs. Les actions des agents économiques concernés par la politique publique dépendent par conséquent de leurs objectifs et de leurs choix, qui sont subjectifs. L'identification et la prévision des effets, nécessaire dans CoBAYe, est donc moins aisée dans le sens où elle ne s'appuie pas forcément sur des habitudes passées, mais les actions de ces agents peuvent être aléatoires au gré de leur rationalité au moment de la décision de mettre en place la politique publique. Cette indétermination et cette incertitude forcent donc d'une part l'analyste à se placer dans une situation d'écoute - et d'ailleurs participative, au moyen d'une concertation (voir section 7.2) - des acteurs économiques afin d'identifier leurs comportements et leurs projets et, d'autre part, à s'interroger - de préférence ensemble - sur l'horizon temporel adéquat pour l'évaluation desdits comportements ainsi identifiés. En effet, si on fait l'hypothèse que les acteurs économiques sont régis par une rationalité procédurale, leurs choix par exemple peuvent être modifiés en fonction des circonstances futures ou de l'information qu'ils sont en mesure d'acquérir après avoir fait le choix initial : une évaluation à long terme est donc susceptible d'avoir des résultats assez différents de ce qui se produira dans la réalité, et toute la question revient à savoir à quel horizon exactement est-il pertinent d'arrêter l'évaluation de chaque comportement, ou effet, identifié.

5.4 Les causes de l'imprévisibilité : pourquoi existe-t-il un t^* , et quand le choisir ?

Dans le processus d'aide à la décision proposé par l'outil CoBAYe, l'horizon temporel d'évaluation d'un effet, noté t^* , dépend de l'imprévisibilité qui lui est associée. Tant que cette imprévisibilité n'est pas trop importante, nous proposons de poursuivre l'évaluation (voir section 5.2.2). Bien sûr, les causes de cette imprévisibilité peuvent être exogènes, c'est-à-dire extérieures au processus de décision, voire même extérieures à la structure de l'environnement dans lequel ils se trouvent. Une catastrophe naturelle telle un *tsunami* à proximité d'une centrale nucléaire, une guerre ou encore une augmentation brutale des prix du pétrole et de l'énergie sont des événements qui certes peuvent parfois être prévisibles - et encore, les experts en géophysique ou en géopolitique ne sont pas toujours en mesure de fournir une prévision de leur occurrence, avec un intervalle de confiance suffisamment pertinent - mais qui sont le plus souvent fortuits, en particulier parce que nous n'avons *a priori* aucune prise sur l'occurrence de ces événements. Nous pensons qu'il existe aussi une forme d'imprévisibilité que nous qualifions de *subjective* : elle reflète les capacités cognitives des agents qui sont parties prenantes du processus de décision, qu'il s'agisse du décideur, de l'analyste ou des différents acteurs économiques invités pour faire part de leur point de vue, à la manière d'une « conférence de consensus »¹¹ (voir section 7.2). Cette imprévisibilité subjective peut alors être caractérisée par le fait que « nous ne savons pas, tout simplement » (Keynes, 1937), c'est-à-dire par l'impossibilité de trouver une probabilité à l'occurrence d'un état de la nature, voire même à l'identifier lui-même (voir section 1.4.1), mais aussi par d'autres éléments, tous relatifs à la rationalité procédurale à laquelle est soumise l'agent économique, comme l'aversion au risque par exemple. Les éléments qui peuvent induire cette imprévisibilité subjective sont détaillés dans les paragraphes suivants. Nous ne prétendons bien sûr pas apporter une identification exhaustive des mécanismes susceptibles d'induire une imprévisibilité subjective, mais cherchons plutôt à présenter ceux qui nous semblent les plus fréquents, dont une synthèse est recensée dans le tableau 5.2.

11. Les *conférences de consensus* ou *conférences de citoyens* sont l'une des modalités du débat public dans le cadre d'un exercice de démocratie participative. Elles servent à éclairer la prise de décision dans des situations complexes, le but étant d'obtenir l'opinion de la population, ou plus exactement d'un panel d'individus censé représenter la population, concernant des choix scientifiques et technologiques.

Tableau 5.2 – Types et causes de l’incertitude prises en compte dans CoBAYe : caractérisations expliquant l’imprévisibilité et le choix de t^*

Causes de l’imprévisibilité : quelles peuvent-être les raisons du choix de l’horizon temporel t^* ?		
Cause	Types d’incertitude à quoi fait référence l’incertitude prise en compte dans CoBAYe	Caractérisations
Nature (Knight, 1921) (Keynes, 1937)	Incertitude radicale	L’ensemble des états de la nature n’est plus connu L’ensemble des états de la nature n’est plus probabilisable Liberté d’imaginer, créativité du choix, « <i>unforeseen contingencies</i> »
Psychologie inhérente à l’individu (Arrow, 1965) (Kahneman et Tversky, 1979)	Incertitude psychologique « propre »	Aversion au risque trop importante Prudence Aversion à l’ambiguïté trop forte Aversion au regret et à l’irréversibilité Doute de soi
Rationalité procédurale (Simon, 1955)	Incertitude environnementale	L’individu réagit en fonction de ses aspirations Forte interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées
Asymétrie informationnelle (Akerlof, 1970) (Williamson, 1985)	Incertitude comportementale	Absence de possibilité (technique) de mesure Absence de donnée du passé Absence de convention ou de repère

5.4.1 L'incertitude radicale, conséquence de la Nature et de la subjectivité des choix de l'individu

L'incertitude radicale

Une fois que l'individu est pris en compte dans l'analyse ou dans la théorie, comme dans celle de Keynes (1937), il devient un sujet d'importance pour établir qu'est-ce qui, dans l'attitude de l'individu envers le monde, rend possible la connaissance. Keynes ne fait pas cela car il considère le monde objectif comme impossible à connaître (voir section 1.4.1). Ce monde objectif est constitué d'individus qui agissent ensemble de manière à rendre les résultats dépendant de leurs préférences et de leurs décisions. Cette dépendance des résultats sur les individus est pourtant l'obstacle pour pouvoir connaître les résultats de leurs actions. C'est donc quelque chose à propos de la subjectivité qui mène à l'incertitude radicale. En effet, l'incertitude au sens de Keynes ne prend pas du tout son origine dans des conditions objectives, mais elle provient plutôt du fait que l'individu est considéré comme libre de toutes contraintes extérieures sur ses actions.

Pourquoi la subjectivité est donc source d'incertitude radicale ? Une réponse se trouve au cœur même de la conception de l'individu dans l'économie moderne. Dans cette conception, l'individu est radicalement subjectif, pas simplement un lieu de décision et d'action, mais un élément irréductiblement particulier et unique (Levine, 1997). La connaissance d'un individu ne fournit pas de connaissance sur un autre et, par conséquent, la connaissance de soi n'apporte pas la connaissance sur autrui, autant que la connaissance des autres ne peut aider pour le développement de la connaissance de soi. Par la suite, parce que le monde est constitué d'individus, il ne peut sans doute pas être connu. Mais si, de surcroît, le monde est composé d'individus avec des désirs irréductiblement particuliers, expérimentés plutôt que connus, même par ces individus eux-mêmes, alors ce monde ne peut définitivement pas être connu. Et encore moins probabilisable. Cette situation existe en particulier dans un processus de décision collective, où chaque acteur partie prenante du processus de décision cherche à identifier des effets et leurs horizons temporels d'évaluation. La démarche même de l'outil d'aide à la décision CoBAYe nécessite la prise en compte de plusieurs acteurs qui seront affectés par la politique publique étudiée et qui, par leur réaction, engendreront éventuellement eux-mêmes une nouvelle structure topo-économique du territoire et par conséquent une nouvelle possibilité d'action publique : que

ce soit le décideur public ou les acteurs qui pratiquent le territoire, ils ont tous deux intérêts à participer au processus de décision pour faire valoir leurs intérêts et leurs besoins et ainsi se rapprocher d'une décision publique efficace (si elle répond au maximum aux besoins de chacun), voire même équitable (si chaque acteur y trouve son compte), en fonction des choix finaux du décideur¹². Le revers de la médaille est que cette mise en commun des intérêts de chacun nécessite évidemment la participation de chacun : cette multitude d'individus rend la formulation de probabilités d'occurrence des états futurs du monde, voire de l'identification même de ces états, impossible.

L'imagination et les « *unforeseen contingencies* » de Shackle (1967)

Shackle (1967) reproche aux économistes qui modélisent la décision rationnelle leur conception du temps et de l'incertitude. En faisant un parallèle avec les loteries, il pense que la décision ne peut pas s'analyser avec une urne déjà remplie, c'est-à-dire à partir d'un modèle que l'on peut se représenter aisément : l'incertitude n'est pas simplement un problème d'acquisition d'information dans un monde fini mais on peut lui associer la liberté d'imaginer, la créativité du choix et l'indétermination du futur. Shackle se rapproche également ainsi de Knight (1921) et de Keynes (1936), pour qui la décision en incertitude se heurte aux limites de la connaissance dans un monde indéterminé (voir section 1.4.1).

Selon Shackle, un décideur public devrait fournir un effort d'imagination pour concevoir l'espace des mondes possibles. Or, envisager tous les états du monde possibles est un exercice impossible, puisque des hypothèses résiduelles demeureront toujours inexplorées (c'est ce qu'il appelle les « *unforeseen contingencies* »). Pour choisir au mieux, le décideur devrait donc se focaliser sur deux hypothèses : celle qui donne la meilleure et celle qui engendre la pire conséquence, et ensuite évaluer leur degré de possibilité. Shackle caractérise ces deux possibilités par des « degrés de surprise potentielle » qui remplacent les probabilités, leur somme n'étant pas nécessairement égale à 1. Il n'apporte toutefois pas de modèle concurrent de celui de l'utilité espérée à l'époque, et ce n'est qu'un peu plus tard que Shafer (1976) développe un modèle de décision qui part de l'idée selon laquelle, en incertitude radicale, le décideur ne peut pas se représenter tous les états

12. Une brève discussion entre les compromis et orientations du décideur pour faciliter l'un ou l'autre de ces objectifs politiques est présentée en section 1.3.1.

du monde. Les fonctions de croyance et de doute du modèle de Shafer renvoient également à l'idée de surprise potentielle de Shackle¹³.

5.4.2 L'incertitude psychologique « propre » émane de la psychologie inhérente à l'individu

L'aversion au risque

Tous les individus n'ont pas la même attitude face au risque, certains étant peu enclins à la prise de risque et d'autres au contraire aimant le risque. On dit qu'un agent a de l'aversion pour le risque s'il préfère à toute loterie le gain de son espérance mathématique reçu avec certitude (*i.e.* l'équivalent certain de cette loterie). Cette notion a notamment été explicitée par Pratt (1964) et Arrow (1965) qui l'ont associée à une dérivée seconde de l'utilité.

L'aversion au risque caractérise le fait que pour l'individu (par exemple un décideur), l'utilité de gains certains excède l'utilité de gains incertains. Son attitude peut également être influencée par la quantité d'informations disponible sur les perspectives incertaines. Cette préférence est alors qualifiée d'aversion pour l'incertitude ou pour l'ambiguïté. Dans le cas de la prise de décision collective, en fonction de l'attitude des acteurs concernés face au risque, ils peuvent considérer que l'imprévisibilité est trop importante pour poursuivre l'évaluation (ou au contraire pas assez et proposer un horizon temporel plus long). Le cas le plus fréquent est sans doute l'aversion au risque : on peut par exemple imaginer un décideur public qui doit justifier une décision collective devant le conseil d'édiles et devant ses concitoyens avant une campagne électorale : ne pas être sûr d'un gain de 10 millions ou d'une perte de 30 millions au bout de cinq ans paraît être une communication risquée. Il sera alors probablement tenté de diminuer la durée d'évaluation (et

13. Shafer (1990) prend l'exemple suivant pour montrer la différence entre les probabilités et les *degrés de croyance* et de *doute*, eux-mêmes inspirés des *degrés de surprise potentielle* de Shackle (1967), et notamment la non-complémentarité à 1 de la somme des degrés de croyance : « Supposons, par exemple que Betty me dit qu'une branche d'arbre est tombée sur ma voiture. Ma probabilité subjective que Betty est fiable est de 90% et ma probabilité subjective qu'elle ne l'est pas est de 10%. Étant donné qu'il s'agit de probabilités, leur somme fait 100%. Mais le jugement de Betty, qui doit être vrai si elle est fiable, n'est pas nécessairement faux si elle n'est pas fiable. En effet, à partir uniquement de son témoignage, je peux justifier un *degré de croyance* de 90% qu'une branche est tombée sur ma voiture, mais seulement 0% (et pas 10%) de degré de croyance qu'aucune branche n'est tombée sur ma voiture. Cela ne signifie pas pour autant que je suis sûr qu'aucune branche n'est tombée sur ma voiture, comme le ferait une probabilité de 0%, mais cela signifie simplement que le témoignage de Betty ne me donne aucune raison de penser qu'aucune branche n'est tombée sur ma voiture. Les 90% et les 0%, dont la somme ne fait pas 100%, constituent ensemble une *fonction de croyance*. »

donc le choix de t^*) pour avoir des résultats monétaires à présenter qui sont moins incertains, et pour lesquels la différence entre les gains éventuels et les pertes éventuelles est moins conséquente.

Enfin, dans le cas où il n'est plus question de gains et de pertes éventuels mais plutôt de gains éventuels et de pertes certaines, les choix peuvent être encore moins aisés. Ces situations existent souvent pour l'action publique : les coûts de mise en place de la politique sont assurés et bien certains, mais les gains ne sont qu'éventuels et dépendent de la rationalité des acteurs visés par la politique. Or les paradoxes expérimentaux (voir section 1.5.2) mis en évidence par Kahneman et Tversky (1979), par exemple, ont montré que le décideur n'agit pas du tout de façon rationnelle lorsqu'il est confronté à ces situations : les pertes sont « surpondérées », caractérisant son aversion au risque.

Nous pensons qu'un décideur public, lorsqu'il est confronté à un choix sur des politiques d'amélioration de la qualité de l'air, par exemple, peut avoir une aversion au risque plus ou moins forte, notamment sur l'ampleur de la réussite ou de l'acceptabilité de la mise en place de la politique. Ainsi, c'est cette aversion qui peut lui faire penser qu'un changement de structure de l'environnement devient de plus en plus imprévisible et qu'il faut arrêter l'évaluation plus tôt. L'aversion au risque n'est cependant pas le seul critère d'arrêt d'évaluation, comme nous le présentons dans les paragraphes suivants.

La prudence

A l'origine, le concept de *prudence* en économie est lié à l'épargne de précaution. Ce sont Leland (1968), Sandmo (1970) et Drèze et Modigliani (1972) qui observent initialement que l'aversion au risque, définie par $u'' < 0$, n'était pas suffisante pour expliquer l'épargne de précaution, un autre comportement de protection vis-à-vis du risque. Cette constatation a ensuite été formalisée et étendue par Kimball (1990) qui y a associé la notion de prudence par $u''' > 0$. La convexité de l'utilité marginale a cependant été justifiée dix ans plus tôt par une approche basée sur les préférences de l'individu (Menezes *et al.*, 1980), dont un exemple simple peut être présenté de la façon suivante (Crainich et Eeckhoudt, 2005) :

Considérons deux loteries x et y définies de la façon suivante :

Tableau 5.3 – Caractérisation expérimentale de la prudence : loterie x **Loterie x**

Probabilités de réalisation	Gains
$\frac{1}{4}$	0
$\frac{1}{4}$	4
$\frac{1}{2}$	8

Tableau 5.4 – Caractérisation expérimentale de la prudence : loterie y **Loterie y**

Probabilités de réalisation	Gains
$\frac{1}{2}$	2
$\frac{1}{4}$	6
$\frac{1}{4}$	10

Les deux loteries présentées ont la même espérance et la même variance : un simple critère d'aversion au risque avec une fonction quadratique ne permet donc pas de les départager. En revanche, avec une fonction non-quadratique, c'est le signe positif (respectivement négatif) de u''' qui permet de voir une préférence de y (resp. x) par rapport à x (resp. y). La prudence, appelée « *downside risk aversion* » par Menezes *et al.* (1980), est alors caractérisée par le fait que y a moins de risque « vers le bas » que x et plus de risque « vers le haut ».

Nous pensons que la prudence est également une des raisons pour lesquelles un décideur peut être amené à hésiter avant de faire ses choix, notamment dans le cas où il est confronté à un manque d'informations ou s'il ne sait pas encore comment peuvent réagir les autres parties prenantes de l'action publique ou même les concitoyens. Dans un registre climatique par exemple, la prudence a souvent été évoquée dans la prise de décision, mais plutôt au contraire pour faire un choix. C'est ainsi que le « principe de précaution » est formulé dans le Principe 15 de la Déclaration de Rio : « En cas de risque ou de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement ».

L'aversion à l'ambiguïté

Le paradoxe d'Ellsberg, décrit en section 1.5.2, ouvre la voie à une nouvelle notion, l'ambiguïté. Ellsberg (1961) la définit de manière stricte comme l'incertitude sur les probabilités créée par un manque d'informations pertinentes alors que ces informations pourraient être connues (Frisch et Baron, 1988). Dans une définition plus large, l'aversion à l'ambiguïté désigne la préférence des agents pour la chose probable et précise relativement à la chose vraisemblable (probable mais imprécise). Il se pose alors la question de la représentation que se font les agents économiques d'un environnement complexe. L'ambiguïté ouvre sur différents travaux qui vont des plus radicaux, avec le refus d'utiliser des probabilités lorsque leur valeur est ignorée, aux plus classiques, avec des modélisations parfois très proches de celle de l'utilité espérée. Ainsi certains modèles intègrent un coefficient d'aversion à l'ambiguïté, de sorte que le modèle de l'utilité espérée, par exemple, devient un cas particulier où ce coefficient est nul (Viviani, 1994).

L'approche par le paradoxe d'Ellsberg permet de concevoir les difficultés de la décision en incertitude à partir d'un choix entre des loteries, c'est-à-dire dans un cadre bien défini où seule manque une donnée du problème, la répartition des boules dans l'urne. L'incertitude ne peut pas toutefois se résumer à l'ambiguïté et, plus généralement, à l'imperfection de l'information. Elle a d'autres sources, comme par exemple la complexité de la situation. Or, avec la complexité et la nécessité de clarifier le problème, il faut analyser la décision comme un processus global et pas seulement comme la phase de choix. En effet, quand l'incertitude devient plus importante, c'est le raisonnement selon l'optimisation qui est lui-même remis en question.

Les travaux de James March ont exploré les facteurs qui influencent la prise de décision, tels que l'orientation par rapport au risque, l'ambiguïté du présent et du passé ou encore les défis de l'apprentissage individuel et organisationnel au sein de groupes, d'organisations, d'entreprises ou de sociétés (March et Olsen, 1976; March, 1978). En particulier, les théories qu'il a développées supposent que les individus au sein d'organisations modifient leur compréhension d'une façon qui est adaptative à dessein même lorsqu'ils font face à une ambiguïté au sujet d'événements passés ou des raisons pour lesquelles ils ont eu lieu : pour March et Olsen (1975), la compréhension de facteurs affectant l'apprentissage par l'expérience permet d'améliorer la prise de décision publique dans un contexte organisationnel, ce qui doit en faire un élément nécessaire de la théorie

du choix en organisation. La formulation du processus de décision proposé par l'outil CoBAYe vise justement à permettre cette compréhension par un débat concerté sur la construction de scénarios pour chaque effet.

Enfin, le processus proposé par CoBAYe suppose que les individus n'ont pas toujours recours à une optimisation lorsqu'ils font leurs choix mais garde à l'esprit que les décideurs ou les acteurs autour de la table de concertation peuvent être averses au manque d'informations pertinentes ou à leur imprécision : ils ne souhaiteraient par conséquent pas se prononcer quant à l'ampleur - ou même l'identification - de certains effets si leurs caractéristiques sont peu concises. Dans ce cas-là, un individu est dans une situation d'incertitude parce qu'il considère que la suite future des événements ne peut pas être connue jusqu'au point où il change de comportement pour faire face à ce manque de connaissance.

L'aversion au regret et à l'irréversibilité

En reprenant les travaux de Pindyck (2007) (voir section 5.2), nous pensons que le décideur souhaite éviter les « *sunk costs* », c'est-à-dire les coûts irrécupérables. Par exemple, dans le cas de l'étude sur la mise en place d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris (voir le Chapitre 9) :

- un décideur public pourrait ne pas souhaiter créer le réseau de bornes de recharge en supposant que, si aucun véhicule ne circule dans la capitale, ces investissements auraient été inutiles et « non-recyclables » pour une autre activité ;
- plus tard, dans le cas où le réseau de bornes de recharges est créé, et même si le nombre de véhicules électriques est encore très faible, le décideur public pourrait être tenté de persévérer par la mise en place d'autres actions publiques (une politique de subventions à l'achat par exemple) pour favoriser la diffusion de ce mode de déplacement non pas par conviction mais sous prétexte qu'il doive « rentabiliser » l'investissement déjà payé.

Les acteurs du processus de concertation, dont le décideur, peuvent ainsi être tentés d'anticiper leurs choix futurs au regard des dépenses déjà effectuées. Par conséquent, ils peuvent également hésiter à se prononcer sur l'identification d'un effet ou sa durée d'évaluation pour les mêmes raisons, s'ils souhaitent éviter au maximum les irréversibilités et ainsi diminuer les risques de regretter leur choix. Certes, des applications ont bien sûr déjà eu lieu pour intégrer la réduction

du risque de regret dans le calcul des fonctions d'utilité (Bell, 1982), notamment dans les développements sur la théorie de l'utilité multi-attributs (Keeney et Raiffa, 1976) mais, comme dans les cas précédents, nous faisons l'hypothèse que l'individu a une rationalité procédurale et ne cherche pas à maximiser ses fonctions d'utilité : c'est pourquoi il nous semble pertinent de faire apparaître ce critère de choix au moment où il apparaît le plus fréquemment dans l'esprit du décideur, c'est-à-dire à l'étape d'identification et surtout de détermination de la durée d'évaluation des effets.

Le doute de soi

Pour Bénabou et Tirole (2003), l'effet de doute de soi¹⁴ est caractérisé par le fait qu'un individu qui réprime systématiquement de mauvaises nouvelles l'amène à être suspect lorsqu'il se souvient de bonnes nouvelles, ce qui nuit finalement à la transmission des deux signaux. Ainsi, tout comme un monarque dont l'entourage n'ose pas lui transmettre de mauvaises nouvelles, ou un enfant qui reçoit des félicitations de ses parents quelles que soient ses actions, un individu conscient de la tendance « sélective » de son attention ou de sa mémoire ne peut jamais être sûr si ses actions ont été efficaces, même si elles l'ont effectivement été.

Ce critère marque alors le fait que l'incertitude est un état d'esprit dans lequel, quelle que soit la prévisibilité des événements, l'individu qui a la charge d'agir est incapable de décider ce qu'il doit faire. Le doute de soi est aussi un type d'incertitude, dans ce cas au sujet du souhait ou de l'intention de l'agent et de sa capacité à agir de façon efficace, même en faisant l'hypothèse d'un contexte objectif approprié, dans le but de satisfaire ses besoins et de réaliser ses intentions.

5.4.3 L'incertitude environnementale, due à l'hypothèse de rationalité procédurale et aux effets d'interdépendances

La rationalité procédurale

Comme évoqué brièvement en section 5.3, la première raison pour laquelle il existe une imprévisibilité des effets est le choix que nous avons pris quant à l'hypothèse de l'agent économique soumis à une rationalité procédurale. En effet, nous pensons que, dans un processus de décision

14. « *Self-doubt* » en anglais.

réel, qu'il soit individuel ou collectif, l'individu n'est que rarement dans une situation dans laquelle il dispose de toutes les informations nécessaires à sa décision, qu'il les connaît et les maîtrise de surcroît complètement, est qu'il est en mesure de pouvoir classer ses préférences de façon cohérente comme le prévoit le modèle de l'utilité espérée de Savage (1954). Pour reprendre la distinction que fait Simon (1955), l'individu n'est donc pas soumis à une rationalité substantielle mais plutôt procédurale.

Cette hypothèse implique que, dans un processus de décision, il agit selon trois étapes que Simon nomme « *search* », « *satisficing* » et la décision elle-même (voir section 1.5.1). Dans le cas des acteurs économiques concernés par le processus CoBAYe lors de l'évaluation de la politique publique, nous pensons que les étapes du processus de décision propres à chaque acteur se présentent de la façon suivante.

1. L'étape de « *search* », caractérise la recherche simple d'informations, ou parfois même le tri parmi une quantité trop importante d'informations. Elle correspond au moment où l'individu réfléchit à l'identification des effets éventuels de la politique publique étudiée et réagit aux anticipations des autres acteurs économiques parties prenantes. Cette phase est donc à la fois une réflexion individuelle et collective puisque l'obtention d'informations vient parfois - voire même souvent - du processus concerté avec les autres acteurs.
2. Les capacités cognitives des agents économiques étant limitées, ceux-ci ne sont pas en mesure de poursuivre cette recherche d'informations indéfiniment et doivent s'arrêter à un moment. Le critère d'arrêt, que Simon appelle « *stopping rule* » correspond au moment où leurs aspirations sont satisfaites, c'est-à-dire que les effets identifiés et les horizons temporels qui leur sont associés sont suffisants pour rendre compte d'une évaluation qui leur semble pertinente. Ce critère de *pertinence subjective* correspond à l'adaptation des niveaux d'aspiration auxquels fait référence Simon : en fonction de la difficulté d'identification de l'ampleur des effets d'un comportement ou d'une action, l'agent économique - et *a fortiori* le décideur - peut diminuer ou augmenter son niveau de données requises et, ainsi, proposer de réduire ou d'augmenter l'horizon temporel d'évaluation. Par exemple, la politique publique de création de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris va bien sûr conduire à des coûts d'entretien de ces bornes et l'horizon d'évaluation de cet effet

peut « facilement » être choisi : s'il n'y a pas de vandalisme (hypothèse à laquelle on peut émettre une probabilité), on peut prendre comme durée d'évaluation la durée de vie de la borne sur l'espace public. En revanche, si cette même politique publique engendre comme effets induits la diffusion et la circulation régulière et fréquente de véhicules électriques dans la capitale, et si ce même effet engendre des effets induits de type II¹⁵ comme la mise en place d'un nouvel écosystème (Moore, 1996) lié à l'utilisation de véhicules électriques en ville (création d'activités de revente ou de location de batteries électriques, création d'opérateurs de mobilité, création de bornes de recharge privées...), alors il peut être moins facile, d'une part, de formuler une probabilité sur l'occurrence et sur l'ampleur de ces effets et, d'autre part, de savoir quand, et surtout jusqu'à quand, ils se manifesteront. La règle d'arrêt que prévoit Simon prévoit alors de s'arrêter lorsque les aspirations de chaque partie prenante sont satisfaites. C'est ce qui correspond dans le processus CoBAYe à la définition de l'horizon temporel t^* : l'outil propose d'arrêter l'évaluation d'un effet quand la recherche de caractéristiques supplémentaires relatives à cet effet n'est plus jugée pertinente par l'acteur qui l'étudie, que ce soit à cause de son aversion au risque, à l'ambiguïté, à l'interdépendance des politiques publiques qui est de plus en plus imprévisible ou à une autre modification de la structure de son environnement. Le critère d'arrêt est donc bien subjectif ; il ne s'agit pas d'un critère d'optimisation sous contraintes des préférences initiales¹⁶ (par exemple lorsque les coûts de recherche deviennent plus importants que les bénéfices qui y sont associés) comme le proposent d'autres (Stigler, 1961). C'est bien la rationalité procédurale de l'acteur qui prend part au processus de décision (incluant le décideur public lui-même), fonction de ses capacités cognitives et de ses aspirations, qui détermine l'horizon temporel t^* au-delà duquel il considère que l'imprévisibilité est trop forte et qu'il n'est plus en mesure de proposer des scénarios pertinents pour l'évaluation.

15. Les effets induits de type I et de type II sont définis en section 6.2.4.

16. Pour Simon (1955), les préférences d'un individu varient à mesure que celui-ci obtient de l'information. Il arrête alors de chercher une solution et arrête de chercher à étendre l'ensemble de ses alternatives si celui-ci comprend au moins une solution satisfaisante. La confusion entre la rationalité procédurale et l'optimisation sous contraintes, entendue comme l'arrêt d'une procédure lorsque les coûts de recherche dépassent les bénéfices qui y sont associés, existe chez plusieurs auteurs (Aumann et Sorin, 1989; Sargent, 1993), mais le critère d'arrêt de Simon (1955) n'est pourtant pas obtenu par cette technique (voir en particulier la section 1.5.1 et l'analyse de Gigerenzer et Selten (2002)).

3. Enfin la troisième étape est le choix lui-même. À nouveau, nous pensons que proposer un critère de décision tel que la satisfaction d'un critère prépondérant, ou la satisfaction d'une combinaison linéaire de critères comme il en est question dans l'analyse multi-critères, n'est pas pertinent sous l'hypothèse de rationalité procédurale du décideur. L'observation des faits et de la prise de décision réelle nous amène à penser que ce-dernier n'agit pas en *homo economicus* : il est donc inutile de fournir un critère d'optimisation, à la manière des modèles néoclassiques, pour l'aider à faire son choix. Cette étape de décision rejoint l'idée que le processus de décision n'est pas technocratique. Comme les autres individus, le décideur - privé ou public - ne réagit pas forcément rationnellement au sens économique. Il est aussi gouverné par ses passions, par ses sentiments, par son « flair » ou par d'autres éléments « qualitatifs » qui ne peuvent pas, par nature, se retrouver dans une quelconque fonction d'optimisation. Nous pensons qu'un outil d'aide à la décision - et c'est le cas pour le processus que décrit CoBAYe - doit uniquement apporter des éléments pour la décision, et non pas choisir à la place du décideur. Enfin, celui-ci peut même avoir une rationalité cachée en fonction de mécanismes de stratégie de pouvoir (qu'ils soient politiques, économiques ou sociaux) et de calculs politiques s'il ne pense plus à l'intérêt général mais à son intérêt particulier. Enfin, il peut même être soumis à une forme d'irrationalité. Lui proposer un critère de décision reposant sur une fonction d'optimisation serait alors encore plus irrationnel.

L'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées

Dans le cas où elle n'est pas soumise à une interdépendance entre différents agents ou différents secteurs d'activité, une situation peut bien sûr être incertaine. Cependant, nous pensons qu'une telle interdépendance favorise l'émergence et l'ampleur de cette incertitude car elle contribue à modifier la « structure de l'environnement »¹⁷ de l'individu qui doit prendre une décision et, par conséquent, ses repères. Pour satisfaire ses besoins ou ses objectifs, il lui est alors nécessaire de faire évoluer ses aspirations et de les adapter à la nouvelle configuration. En effet, l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées contribue à changer la structure topo-économique (STE) du territoire qui est étudié (voir les sections 4.6 et 6.2) : le décideur est alors en présence

17. Voir la section 1.5.1 et en particulier la métaphore des ciseaux de Simon.

d'une nouvelle configuration économique, qui se reflète par l'apparition de nouveaux acteurs, de nouveaux liens entre ces acteurs ou encore de changements institutionnels ou infrastructurels par exemple. Il doit donc s'adapter à la nouvelle configuration pour pouvoir continuer à exercer son activité et répondre à ses besoins, voire à en répondre à de nouveaux qui auront été créés par la nouvelle STE. Dans le cas de l'évaluation *ex-ante* d'une politique publique et, *a fortiori*, lors d'un processus d'aide à la décision avant sa mise en place, comme dans le cas de CoBAYe, une anticipation d'une évolution de plus en plus rapide des STE peut engendrer chez l'agent économique moins d'assurance quant à ses futures possibilités d'actions, notamment en raison des différentes réactions - tout aussi imprévisibles - des autres acteurs concernés par la politique publique au cours du temps, et au cours des STE. L'imprévisibilité liée à l'occurrence et à l'ampleur de certains effets anticipés augmente alors et, au-delà d'un certain seuil, subjectif pour chaque acteur considéré, elle est rédhibitoire pour continuer à prévoir des effets, notamment à cause des raisons qui sont exposées ci-après.

5.4.4 L'incertitude comportementale due à l'asymétrie informationnelle

L'absence de possibilité technique de mesure

Pour certains effets, il n'est pas possible de trouver une mesure quantitative de leur ampleur, pour des raisons techniques ou pratiques. Dans ces cas-là, le décideur peut se retrouver dans une situation où l'information disponible ne lui semble pas précise ou complète, et son aversion à l'ambiguïté peut être un des facteurs qui contribuent à augmenter son incertitude quant à la réalisation ou l'ampleur de l'effet envisagé.

Dans le cas de la mise en place d'une « Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air » (ou d'une « Zone à Circulation Restreinte » - voir le Chapitre 10) par exemple, la directive européenne 2008/50/CE préconise des concentrations en polluants atmosphériques à ne pas dépasser (en moyennes journalière et mensuelle), que ce soit dans le cas des PM_{10} ou du NO_2 . Or, la concentration de ces polluants dans l'atmosphère est peu facile à mesurer, et les sources de leur ampleur sont encore moins simples à déterminer. Les techniques de mesure ont donc bien souvent recours à des polluants intermédiaires ou des traceurs (comme les suies ou le « *black carbon* »),

des taux théoriques de composition des composants chimiques¹⁸, ou parfois des techniques de transfert entre deux grandeurs différentes¹⁹, chacune des techniques ayant son propre taux de fiabilité. Si la marge d'erreur est trop importante, la différence entre les gains et les pertes qui découlent des effets envisagés peut être très importante : un décideur peut donc hésiter à se lancer dans une politique dont l'évaluation *ex-ante* présente de tels résultats, en fonction de son aversion à l'ambiguïté, et par suite au risque.

L'inexistence de donnée du passé

Lorsqu'il est face à un problème, un décideur peut se demander s'il a déjà été traité dans le passé. Pour cela, il peut s'appuyer sur des politiques antérieures menées sur son territoire même ou des analyses comparatives de politiques similaires menées ailleurs. Par exemple, lors de l'étude de faisabilité de la mise en place d'une « Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air » (voir le Chapitre 10) à Paris, au moins deux analyses comparatives ont été menées, d'une part au niveau national par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME, 2011) et, d'autre part par l'Atelier parisien d'urbanisme (Proag, 2011; APUR, 2012b), toutes deux dans le but de proposer au décideur l'éventail des actions qui ont été menées sur le continent européen et leurs conséquences sur des secteurs aussi divers que la qualité de l'air, l'acceptabilité sociale ou le renouvellement de la flotte automobile par exemple. Le recours aux données passées est ainsi nécessaire pour combler un manque d'informations et, par conséquent, il permet de réduire l'incertitude sur les conséquences d'une décision.

Il arrive toutefois que l'action publique que souhaite mettre en place le décideur soit inédite ou innovante, et pour laquelle il n'existe pas de donnée du passé. Ses choix dépendent alors de sa conviction politique, par exemple. En effet, dans le cas de la création du système de vélos en libre-service *Vélib'* à l'échelle de la capitale, la mise en place d'un réseau d'autopartage électrique avec *Autolib'* ou encore la création d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques à destination du public dans la capitale, le décideur n'a pas forcément bénéficié d'informations

18. La part respective de NO_2 et de NO , par exemple, dans la composition des NO_x , peut être déterminée théoriquement. On mesure alors les NO_x et on en déduit la composition de NO_2 , d'une part, en fonction de conditions de température et de pression précises et aussi, d'autre part, en fonction de la composition chimique de l'atmosphère, elle-même variable et dépendante des conditions climatiques, par exemple.

19. Les associations de surveillance de la qualité de l'air en France, dont Airparif pour la région île-de-France, essaient de modéliser les concentrations de ces polluants atmosphériques à l'aide des données sur leurs émissions.

mises à sa disposition sur des politiques antérieures ou sur des éléments de comparaison en provenance d'autres métropoles : les choix qu'il a faits ont donc été formulés en fonction d'autres critères et contraintes. Cependant, dans d'autres cas, par exemple le fait de savoir à quel point un *Paris électrique* peut attirer une classe créative, sur le modèle de Florida (2010), il est possible que le décideur ne bénéficie pas de données passées suffisantes ni ait une conviction forte à ce sujet, il peut être tenté de renoncer à l'évaluation de cet effet : dans ce cas, il choisirait probablement une valeur de t^* peu éloignée dans le temps pour cet effet.

L'absence de convention ou de repère

Enfin, les normes ou conventions tacites peuvent fonctionner comme des « substituts au savoir dans les situations d'incertitude engendrées par une asymétrie d'information » (Sakalaki, 2002), par exemple :

- en situation d'incertitude sur la qualité, les sujets construisent des conventions ou normes tacites,
- ces normes puisent leur contenu dans les consensus qui leur préexistent et on voit alors émerger des formes de pensée sociale plus complexes comme les représentations sociales,
- par conséquent, elles agissent comme une fonction pragmatique d'orientation des intentions et des décisions économiques.

Cependant, et de façon assez proche du cas précédent, le décideur peut aussi être confronté à un problème pour lequel il n'existe pas de convention ni de routine, qui auraient été susceptibles de réduire son incertitude. Les acteurs concernés dans le processus de concertation ne peuvent donc pas se reposer sur les habitudes passées ou les procédures qu'on leur demande d'appliquer. Ils peuvent donc être amenés à ne pas avoir d'informations suffisantes pour identifier leur comportement futur ou son ampleur, ce qui pourrait par conséquent les inciter à choisir une valeur de t^* assez proche.

5.5 Conclusion

La distinction entre la certitude, l'incertitude et l'incertitude radicale permet d'expliquer la proposition d'évaluation d'une politique publique *ex-ante* dans le processus décrit par l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

- En se plaçant sous l'hypothèse de rationalité procédurale, nous considérons que les acteurs économiques ont, dans des environnements « complexes », une vision incomplète de celui-ci, car leurs préférences peuvent être amenées à varier à mesure que l'individu acquiert de l'information supplémentaire. Par ailleurs, l'action ou le comportement envisagés par un agent économique concerné par la mesure publique dépend à la fois de l'incertitude pesant sur le résultat de leur accomplissement et de la prévisibilité possible de chaque effet, qu'il soit originaire de l'acteur lui-même ou des autres. Il est question ici non pas de l'incertitude radicale, mais bien de l'incertitude probabiliste, ou calculable.
- De surcroît, en faisant l'hypothèse que les individus sont tous uniques, l'analyste ne peut prétendre connaître les préférences de chaque agent (voire même de chaque type d'agent) économique. Il doit donc procéder par questionnements et par concertation avec les acteurs concernés afin que, de façon collégiale, il ressorte du processus de décision une identification des effets possibles de la mesure publique initiale.
- Ce processus d'identification des effets requiert une participation de chaque acteur dans le sens où chacun est en mesure de décrire, idéalement, les comportements ou les actions qu'il serait susceptible de mener face aux effets identifiés antérieurement, et par réaction aux comportements des autres acteurs concernés. De façon purement théorique, ce processus peut être infini si l'imagination et les anticipations des acteurs le sont également. Toutefois, de façon pratique, et comme formulé précédemment, l'outil d'aide à la décision CoBAYe ne revendique pas une évaluation de la mesure publique sur un horizon temporel prédéterminé de façon exogène, mais plutôt sur un horizon temporel adéquat et en accord avec la rationalité des acteurs engagés dans le processus de réflexion, y compris le décideur. C'est même le processus de décision proposé par CoBAYe qui fait révéler et expliciter les durées d'évaluation de chaque effet et, en ce sens, l'horizon temporel est plutôt déterminé de façon endogène au processus de décision CoBAYe. En particulier, à cause de :

- (a) l'incertitude radicale, conséquence de la Nature et de la subjectivité des choix de l'individu (Knight, 1921; Keynes, 1937),
- (b) l'incertitude psychologique « propre », qui émane de la psychologie inhérente à l'individu (Arrow, 1965; Kahneman et Tversky, 1979),
- (c) l'incertitude environnementale, conséquence de l'hypothèse de rationalité procédurale (Simon, 1955),
- (d) ou de l'incertitude comportementale, engendrée par l'asymétrie d'informations (Akerlof, 1970; Williamson, 1985),

il existe un certain horizon temporel, noté t^* , après lequel « nous n'avons aucune idée » de ce qui pourrait arriver (pour reprendre la formulation de Keynes (1937)) : les acteurs sont alors, d'une part, en présence d'un cône d'incertitude pour l'évaluation économique de chaque effet et, d'autre part, conscients qu'il existe un horizon temporel pour chaque effet, au bout duquel son évaluation économique n'est plus pertinente. L'identification de cet horizon temporel relève de la concertation entre tous les agents économiques concernés et est déterminé par exemple par leur aversion à l'ambiguïté, leur aversion au risque, ou d'autres critères (économiques, politiques, implicites ou non) propres aux agents ou au décideur lui-même pour choisir d'arrêter l'évaluation à un horizon temporel antérieur à celui après lequel les résultats de l'évaluation sont très incertains.

Chapitre 6

Représentation dynamique du territoire et formalisation de l’outil d’aide à la décision CoBAYe

6.1 Introduction

Les chapitres précédents ont permis de présenter quelques-uns des éléments théoriques qui sous-tendent l’outil d’aide à la décision CoBAYe, et de développer les éléments qui constituent l’outil, notamment les notions d’interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées (Chapitre 4) et d’incertitude telle qu’elle est perçue dans CoBAYe (Chapitre 5). En particulier, l’identification des effets de la politique publique évaluée se fait au moyen des effets directs, indirects et induits et également des *opportunity benefits* (section 4.6.2) jusqu’à un certain horizon temporel t^* , au-delà duquel les effets engendrés sont jugés imprévisibles (sections 5.2.2 et 5.4) par le collège d’acteurs réuni pour aider à la prise de décision au cours d’une approche concertée (section 7.2).

Dans le but d’une part de construire un outil d’aide à la décision qui puisse intégrer ces éléments et, d’autre part, de pouvoir l’envisager, à terme, dans une démarche de création d’un outil informatique, il nous a semblé nécessaire de poser les bases conceptuelles de l’outil CoBAYe sous la forme d’équations mathématiques et de graphes orientés. La section 6.2 a pour objectif

de trouver une représentation du territoire sur lequel s'applique la politique publique. Ainsi, son utilisation permettra de modéliser les interactions des agents et des ressources de ce territoire. En nous appuyant sur quelques-uns des éléments théoriques qui mettent en interaction la géographie territoriale et l'économie, puis les caractéristiques de notre représentation d'un territoire, nous avons alors choisi de proposer la définition et la construction de la « structure topo-économique » du territoire, notion nécessaire pour représenter les configurations et interactions géographiques et économiques des ressources du territoire sur lequel est mise en place la politique publique à étudier. En outre, cette représentation pourra également servir en tant que telle dans une démarche d'analyse de centralité de chaque acteur, qu'elle soit statique ou dynamique (section 6.3). La section 6.4 permet alors de fixer les notations qui sont prises pour conceptualiser les notions mais aussi pour les utiliser plus facilement dans les applications développées aux Chapitres 9 et 10. Une fois munies de celles-ci, la section 6.4 indique comment nous proposons de modéliser l'outil d'aide à la décision CoBAYe en explicitant notamment la *structure topo-économique* (STE) du territoire (section 6.4.1), son évolution (section 6.4.2) et la prise en compte de l'incertitude dans l'outil (section 6.4.3).

6.2 Représentation dynamique du territoire

La CBA suppose implicitement dans l'esprit de ses utilisateurs que l'économie est stationnaire : il n'y a pas de croissance économique. En effet, les choix des consommateurs et des producteurs se font toujours de manière alternative. Un nouveau marché n'engendre pas de nouveaux revenus qui n'engendrent à leur tour pas de nouvelles consommations. La propagation des effets n'existe pas (voir Chapitre 3). Or il nous semble que la connaissance de « ce qui pourrait se passer » suite à la mise en place d'une politique publique est d'un intérêt non-négligeable pour un décideur : quelles conséquences cette politique engendrerait-elle ? Quels agents économiques seront les plus affectés, voire les plus mobilisés ? Quelles activités privées seraient engendrées ? et en retour, quelles dispositions le décideur aurait-il à prendre pour favoriser, encourager ou au contraire inhiber certaines de ces activités ? L'identification des effets induits par la politique publique à évaluer, qui s'étalent sur des horizons temporels différents, nous paraît par conséquent essentielle, ne serait-ce que parce qu'elle permet au décideur d'anticiper les futures actions qu'il aurait à prendre.

Nous avons donc tenté dans la construction de l'outil d'aide à la décision CoBAYe de faire apparaître une méthode de prise en compte des contingences dynamiques et notamment de la propagation des effets. Cependant, nous pensons qu'envisager les effets de la politique à des horizons temporels futurs ne peut pas être détaché du territoire sur lequel porte la politique publique, de ses ressources et de son évolution dans le temps. Nous avons donc choisi d'envisager la propagation des effets dans un cadre spatio-temporel dynamique, afin de pouvoir envisager les effets d'interdépendance et notamment les « *opportunity benefits* ». Pour cela, nous avons d'abord cherché à savoir s'il était possible de s'appuyer sur des éléments déjà existants pour définir ce cadre spatio-temporel parmi les théories faisant un lien entre l'économie et l'espace comme l'économie géographique (section 6.2.1) et l'économie territoriale (section 6.2.2), ce qui nous a amené à choisir dans CoBAYe la définition du *territoire* qui nous paraissait la plus proche des contraintes réelles mises en évidence dans les évaluations économiques (section 6.2.2) pour finalement proposer une définition d'une photographie du territoire (à horizon temporel fixé) permettant de rendre compte des interdépendances entre acteurs engendrées par les ressources du territoire : c'est ce que nous avons appelé la « structure topo économique » du territoire (section 6.2.3).

6.2.1 L'économie géographique

Caractérisations

Le commerce international. L'économie géographique est fondée sur le postulat que, même si des interdépendances existent, les grandeurs proches ont plus d'influence que les grandeurs éloignées. Elle cherche donc à comprendre les conséquences économiques de l'espace et montrer ce qui a provoqué une interaction entre acteurs et marchés initialement éloignés. Cipolla (1962) la résume ainsi : « L'une des principales conséquences de la révolution industrielle a été l'apparition de transports rapides et à bon marché. Les distances se sont raccourcies à un rythme toujours croissant. Le monde entier, chaque jour, a semblé se faire de plus en plus petit, et des sociétés qui s'ignoraient depuis des millénaires sont brusquement entrées en contact – ou bien en conflit ».

Certains des premiers travaux de l'économie géographique s'inspirent de la physique. Les mouvements migratoires sont fonction de la taille des pays ou des villes et de la distance qui

les sépare, par analogie avec le modèle de gravitation par exemple. Dans le cas du commerce international, Tinbergen (1962) montre que les flux sont donnés par les exportations et les importations entre deux pays dont la taille est mesurée par leur PIB. Plus précisément, le modèle gravitationnel retenu par les économistes porte sur les échanges bilatéraux entre pays et s'attache à prédire les flux d'exportation du pays i vers le pays j en fonction, d'une part, de la masse économique de chacun des deux pays (mesurée respectivement par leur PIB) et, d'autre part, de la distance qui les sépare. Les résultats des travaux qui en découlent peuvent être résumés par le fait que même si le niveau des flux commerciaux a progressé à la fois entre pays proches et pays éloignés, l'impact d'un accroissement marginal de la distance réduit de plus en plus l'intensité des échanges commerciaux. On constate donc que le rôle de la distance, loin de baisser, est de plus en plus important, et ce surtout depuis la Seconde Guerre mondiale (Combes *et al.*, 2006).

La localisation de l'entreprise. La révolution industrielle a profondément affecté les coûts de transport, aussi bien leur niveau que la façon dont ils dépendent de la distance. L'économie géographique s'est donc attelée à comprendre comment ces transformations ont pu agir sur les décisions de localisation des producteurs. Les premiers éléments formels d'une théorie de la localisation de la firme remontent à l'essai de Weber (1909) pour qui la meilleure implantation possible était celle minimisant les coûts de transport supportés par ladite firme. La localisation optimale de la firme peut alors être vue comme le point d'équilibre d'un système régi par deux forces, chaque marché attirant la firme selon une force dont l'intensité dépend, d'une part, du « poids » du marché considéré et, d'autre part, du coût marginal de transport par rapport à la distance.

La concurrence spatiale. Passer de la localisation d'une firme à celle de plusieurs firmes engendre des difficultés de modélisation. En effet, au moment où ils effectuent leurs achats, les consommateurs ne considèrent pas la totalité des producteurs du bien qu'ils cherchent à acquérir, mais seulement ceux qui sont situés à proximité de leur domicile. Au sein de chaque sous-marché, toute firme est alors capable d'identifier celles avec lesquelles elle doit partager la clientèle correspondante et la concurrence est alors localisée (Hotelling, 1929). Dans un tel contexte, toute modification du prix de vente de la firme considérée affecte le chiffre d'affaires

des entreprises voisines. Par conséquent, la concurrence spatiale entre firmes est nécessairement de nature stratégique.

L'effet de taille de marché. Après les travaux de Paul Krugman (1980), l'économie géographique prend parfois le nom de « nouvelle économie géographique ». Sa contribution majeure a été de retenir une structure d'équilibre général où marchés régionaux du travail et des produits interagissent localement, mais aussi globalement par l'intermédiaire des échanges interrégionaux de biens, ainsi qu'au travers de la mobilité de certains facteurs de production. Pour cela, les prédictions fondées sur le paradigme « concurrence parfaite-rendements constants » s'avérant insatisfaisantes, Krugman suppose alors que le marché des produits est gouverné par la concurrence monopolistique. Dans un tel marché, les consommateurs ont une préférence pour la variété, alors que les firmes offrent des biens différenciés. Dans une telle configuration, la firme dispose alors d'un pouvoir de marché suffisant pour qu'elle puisse vendre à un prix excédant son coût marginal, à la différence de ce que ferait une firme opérant en concurrence parfaite. Dans le cas du commerce international, avec des pays de taille différente, Krugman démontre alors que les grands pays en termes de demande attirent une part plus que proportionnelle de la production du secteur moderne. La raison est que les firmes qui s'y installent bénéficient d'un meilleur accès au grand marché, ce qui leur permet d'exploiter au maximum les économies d'échelle dans la production tout en réduisant les frais de transport à supporter.

Liens et inspirations pour CoBAYe

Le degré de concurrence spatiale nous semble être un des éléments dont il est important de prendre en compte dans la construction de l'outil à la décision CoBAYe. Il permet en effet de mettre en évidence les interdépendances déjà existantes au sein du territoire et les jeux d'acteurs qui les sous-tendent. Ces interactions peuvent alors être modélisées par la théorie des jeux non-coopératifs (voir section 4.5), ce qui nécessite de s'appuyer sur des hypothèses de rationalité parfaite de l'individu, ou bien ces interactions peuvent être mises en évidence par une explicitation des relations de dépendance liant les différents acteurs (voir section 6.2.3) dont les anticipations peuvent alors être identifiées par un processus de concertation (voir section 7.2).

Dans la construction de l’outil CoBAYe, nous nous inspirons également de l’idée de Krugman (1980), selon laquelle certains territoires sont plus attractifs que d’autres en fonction de leurs ressources. En effet, nous pensons que les territoires sont en concurrence monopolistique, chacun possédant des ressources ou des caractéristiques (par exemple climatiques, politiques, économiques, institutionnelles, infrastructurelles...) qui les rendent spécifiques. Dans le cas de la mise en place d’une infrastructure de bornes de recharge pour véhicules électriques sur le territoire parisien par exemple (voir le Chapitre 9), la capitale se trouve dotée de facteurs nouveaux qui peuvent induire de nouveaux comportements de la part des acteurs existants (des effets induits de type I) mais aussi de nouveaux effets qui découlent de la nouvelle configuration économique du territoire (des effets induits de type II)¹ : de nouvelles routines logistiques peuvent être choisies pour des opérateurs de livraison alimentaire, de nouveaux comportements de mobilité peuvent également être engendrés avec les cas de l’autopartage ou de la mutualisation d’une flotte électrique par exemple (Bainée, 2013; Proag et Bainée, 2014b). Ce sont par conséquent en partie sur ces éléments que nous nous appuyons pour construire le cadre spatio-temporel du dispositif d’évaluation dans CoBAYe, défini à partir de la structure topo-économique du territoire (section 6.2.3).

6.2.2 L’économie territoriale

L’économie territoriale consiste à étudier les questions de l’économie avec une approche fondée sur le temps, l’espace, et en faisant systématiquement référence à des situations concrètes.

Pour l’économie territoriale, les surfaces vierges sur lesquelles des entreprises et des organisations publiques peuvent tout simplement venir et s’installer n’existent pas. Au contraire, il existe des villes et des régions avec leur propre histoire de développement, leurs places spécifiques au sein de processus économiques et institutionnels et leur solidité institutionnelle (Lipietz, 1983; Thrift et Olds, 1996). Ces villes et régions comportent des grandes et des moins grandes densités d’interactions entre des agents à des lieux différents; elles donnent aussi lieu à des procédés d’apprentissage collectif inégaux. Cela nous mène à la définition du territoire, défini et analysé pour la première fois comme une zone spéciale de relations pas forcément commerciales entre agents (Storper, 1997). Les territoires émergent en général *via* de longs processus historiques, et les institutions publiques ont une importance forte sur ce qui a été leur façon de se développer.

1. Les effets induits sont définis en section 4.6.2

Dans ce contexte, les actions des organisations politiques, culturelles et religieuses doivent être étudiées, puisqu'elles expriment des caractéristiques locales uniques. Certains acteurs économiques privés jouent parfois un rôle central. Quand une entreprise s'est installée sur un territoire, cela n'est pas uniquement dû aux actions initiées par des acteurs publics (soutien aux transferts de technologie, facilités d'intégration *ad hoc*), mais cela peut aussi bien être le résultat de la stratégie de l'entreprise.

Le territoire : à la recherche d'une définition

Des définitions multiples. Le territoire est un concept typiquement géographique, mais il est polysémique et engendre par conséquent des problèmes méthodologiques. Lévy et Lussault (2013) ne donnent pas moins de huit définitions pour le concept du *territoire*. Parmi celles-ci, nous pouvons retenir que :

- le territoire peut être compris comme un *espace*, c'est-à-dire une étendue qui peut être définie indépendamment d'une quelconque présence humaine, fondée sur des caractéristiques objectives qui définissent l'espace en question ;
- le territoire peut également être une aire géographique délimitée par des frontières géographiques ;
- le territoire peut également *être approprié par ses acteurs* et peut être issu de processus collectifs d'action et de connaissance menés par ces acteurs. Dans ce cas, les agents économiques sont les acteurs de la construction de ce territoire.
- Enfin, une dimension *historique* peut également être présente. Le territoire représente alors les actions implicites des acteurs qui, elles-mêmes, sont les témoignages que chaque endroit et chaque époque prend ses racines dans sa propre histoire.

Le territoire comme creuset d'une interaction d'agents économiques. De tels aspects évolutifs de l'idée d'un territoire sont tous cumulatifs et compatibles entre eux. Ils reflètent les difficultés des géographes à chercher à appréhender toutes les formes des, et les motivations sous-jacentes aux, configurations spatiales humaines, en partant de l'échelle individuelle (microéconomique) à l'échelle globale (macroéconomique). Ces différentes approches peuvent être adaptées en une définition économique du territoire. L'ajout de l'adjectif « économique » signifie que l'on donne au territoire un sens qui envisage la production ou la distribution de biens

et services commerciaux, ce qui amène Pecqueur (2008) à proposer la définition suivante du territoire :

« Le territoire est le réseau d'agents situés au sein d'une aire géographique définie (même si ces frontières fluctuent) avec l'objectif d'identifier et de résoudre un problème de production perçu ou ressenti comme partagé par lesdits agents. »

Ce type de territoire engendre alors un potentiel pour des actions au cours desquelles des agents économiques sont fortement impliqués. Le concept de « gouvernance » y est lié, puisqu'il caractérise le fait que cette implication est structurée.

Un espace doté de ressources relationnelles. Par ailleurs, Courlet (2008) montre que le territoire doit être abordé comme un système social doté de ressources relationnelles et non uniquement comme une simple entité spatiale pourvoyeuse de ressources physiques. Le territoire est alors vu à la fois comme :

- un ensemble de facteurs aussi bien matériels qu'immatériels que la théorie économique a de longue date associé aux avantages que présentent la diminution des coûts de transaction et l'existence d'économies externes ;
- un système de relations économiques et sociales qui conduit au concept de capital social immortalisé par Putnam (2002)² ;
- et finalement un système de gouvernance local.

Une différence avec l'économie géographique. Enfin, le territoire ne peut toutefois pas se réduire à l'interaction entre les trois dimensions que constituent les économies d'échelle, les coûts de transport et les économies d'agglomération comme il en est question en économie géographique (voir section 6.2.1). Au lieu de se voir considéré comme un ensemble de zones, il est important de percevoir le territoire comme un tissu dont les mailles sont plus ou moins resserrées. Un territoire se distingue également de tout autre par des caractéristiques qui lui sont propres et, pour cela, son développement exige des stratégies qui lui sont adaptées (Joyal, 2013) : politiques publiques, stratégies privées qui confèrent une spécificité à un territoire et le dotent de ressources.

2. Le politologue Putnam définit le capital social comme les caractéristiques de l'organisation sociale, telle que les réseaux, les normes et la confiance, qui facilitent la coordination et la coopération pour un bénéfice mutuel.

Enfin, d'autres caractéristiques économiques nous semblent importantes à envisager, et c'est la raison pour laquelle nous définissons la « structure topo-économique d'un territoire ».

6.2.3 La « structure topo-économique du territoire »

Définition d'une structure économique

La structure économique peut être pensée comme ce qui permet d'étudier la dynamique macroéconomique : « la structure économique doit avant tout être ramenée à un système économique, [entendu comme un système macro-économique, c'est-à-dire] une constellation inconsistante de nombreuses grandeurs économiques (variables) toutes liées entre elles par des relations simples et multiples déterminées simultanément. L'ensemble de ces relations constitue un réseau de liens enveloppant le système lui-même. [...] Mais un système économique [...] a besoin d'une configuration de consistance qui soit définie dans le temps et dans l'espace. Cette configuration est justement apportée par la structure économique du système même, qui imprime à la constellation des grandeurs économiques composantes, un manière d'être et de devenir qui tend à se conserver constante dans le temps » (Resta, 1954). La structure économique représente donc toutes les relations liant les grandeurs économiques d'un système étudié et qui construisent un cadre spatio-temporel constant pour son étude dynamique. De surcroît, cette caractérisation permet alors de distinguer également les relations qui définissent des liens de production de celles s'appliquant aux biens produits. Ainsi, la structure économique est la façon dont la relation de production existant entre les facteurs de production (terre, matières premières et travail) d'un système détermine les liens et leurs variations dans toutes les autres relations du système, en tendant en plus à se maintenir dans le temps.

Définition d'une structure topo-économique (STE)

Compte tenu des sections précédentes et dans le but de représenter l'interaction entre les agents économiques d'un territoire, qui le développent et le façonnent, et le territoire lui-même qui, grâce à ses ressources, leur crée des opportunités, nous définissons dans ce travail une nouvelle notion appelée « structure topo-économique » (STE) d'un territoire. Il s'agit d'un système structuré et ordonné dans lequel l'analyse des comportements des agents économiques ne peut être exclue des caractéristiques et ressources du territoire qu'ils pratiquent. Les éléments caractérisant la structure

topo-économique d'un territoire représentent donc les interactions entre les caractéristiques de ce territoire et celles des interdépendances entre les agents économiques du territoire. Ainsi, parmi les éléments composants du territoire, on trouvera par exemple :

1. **ses caractéristiques topographiques et climatiques** (topographie, pollution de l'air, sonore ou des sols...),
2. **les caractéristiques institutionnelles du territoire** (législation en vigueur, couches institutionnelles internes et dont le territoire dépend, gouvernance...),
3. **la nature et l'emplacement des ressources infrastructurelles du territoire** comme les infrastructures de transport (existence et emplacement de lignes de trains, de métros, de tramways, de bus, d'autoroutes et de routes, d'aires de stationnement et d'aires de livraison, de pistes cyclables, de rues piétonnes,...) d'énergie (existence et emplacement des lignes hautes tension aériennes et souterraines, permettant la desserte des points de consommation du territoire, ménages, bureaux, entreprises, voirie...), ou encore d'eau (emplacement et existence des tuyaux et conduits d'eau destinée à la consommation, à l'agriculture ou les eaux usées...),
4. **les éléments caractérisant la mobilité des agents économiques du territoire**, c'est-à-dire à la fois la nature et l'emplacement des plaques tournantes de transport (gares de train et de bus, stations de train et de métro les plus utilisées, stations *Autolib'*, emplacements *Vélib'*), mais aussi les éléments relatifs aux préférences des agents économiques qui pratiquent le territoire (taux de possession d'un véhicule, d'un vélo), motifs de déplacement à l'intérieur du territoire ou dans sa périphérie, préférences de trajets en fonction des motifs et préférence à utiliser un mode de transport plutôt qu'un autre pour réaliser ce déplacement (parmi la voiture individuelle, l'autopartage, le covoiturage (professionnel ou privé), les transports collectifs, le vélo mais aussi la marche...),
5. **la nature et l'emplacement des ressources caractérisant la vie quotidienne d'un agent du territoire**, comme par exemple les bassins d'emplois et leur nature (bureaux, commerces, industries, attractions touristiques, emplacements culturels, écoles,...) les aires de logement et leur nature (maisons, appartements, studios...), les aires de loisirs et leur nature (centres commerciaux, parcs et jardins, aires de jeux, rives fluviales,...), les aires de

consommation finale de biens et services primaires et secondaires (commerces, établissements de restauration,...),

6. **les « ressources humaines du territoire »**, c'est-à-dire les caractéristiques de la population qui pratique le territoire, celle qui y habite, mais aussi celle qui y travaille, qui y passe ses loisirs (culturels ou de consommation), et celle qui n'est que ponctuelle (touristes, conférenciers et participants à une exposition). Parmi ces caractéristiques, on s'intéresserait par exemple à la répartition de l'âge, des genres, des catégories socio-professionnelles de la population, mais aussi au capital cognitif ou à la mentalité de la population (sa préférence pour utiliser des modes de déplacement non-polluants par exemple).

Enfin, à chacune de ces composantes territoriales correspond une structure économique donnée, c'est-à-dire des interactions entre divers agents économiques spécifiques, mettant en œuvre des politiques publiques ou des stratégies privées territoriales au sein de marchés. Ces différentes interactions existantes entre le territoire et les agents économiques qui le composent sont bien souvent caractérisées par une double dépendance. En effet, l'agent économique retire des ressources du territoire un capital (foncier, industriel, culturel, voire cognitif) dont il peut se servir et des niches de marché sur lesquelles il peut se positionner afin de développer son activité économique : il est donc dépendant du territoire et son activité ou les moyens d'action pour la réaliser ne seraient pas identiques sur un territoire différent. Par exemple, c'est bien la structure du territoire et de l'emplacement des bassins d'emploi et de logement qui permet aux services de la Mairie de Paris de savoir comment et où construire des emplacements de Vélib', son système de vélo en libre-service. De même, des acteurs privés, comme les taxis sont préférentiellement placés à côté des gares ferroviaires, des ports ou des aéroports, endroits structurants du territoire qui leur confèrent un avantage comparatif par rapport à une station de taxis située à un endroit de la ville dépourvu de grandes infrastructures attirant une concentration de clients potentiels.

Dans l'autre sens, les activités des agents économiques du territoire contribuent à le transformer : les politiques publiques le dotent de ressources nouvelles ou modifient celles qui existaient initialement, et les activités privées le façonnent également en le rendant plus dynamique, plus créatif, plus innovant ou, à l'inverse, plus nuisible (pollution, inconfort), plus densément construit ou moins fonctionnel (épuisement des ressources) : le territoire se trouve

donc transformé par les politiques publiques et les activités privées qui le dotent d'une nouvelle disposition pour accueillir d'autres activités. Par exemple, la présence proche d'une quantité importante d'écoles, d'universités et d'industries de recherche, au sein même d'une ville, confère :

- d'une part, au cluster ainsi créé un potentiel non-négligeable d'externalités positives de consommation et de production à travers des échanges académiques et industriels officiels ou encadrés
- et aussi, d'autre part, à la ville elle-même un potentiel d'attractivité vis-à-vis d'investisseurs nationaux ou internationaux : le territoire se trouve donc transformé par l'action des agents économiques au sein du cluster.

Les deux sens d'interaction ci-dessus montrent que l'objet étudié par l'analyste, qui a la charge de l'évaluation de politiques publiques ou de stratégies privées, est imbriqué au sein d'une multitude d'interdépendances entre le territoire et les agents économiques qui le composent. Afin de tenir compte de ces interactions et d'être au plus près des comportements des agents économiques dans la réalité, il est nécessaire que l'analyste se munisse d'un cadre d'étude qui ne soit pas uniquement composé des caractéristiques du territoire ou pas uniquement de sa structure économique, mais bien de la conjonction et de l'interaction des deux. C'est là l'objectif du cadre d'analyse défini ci-dessus : la structure topo-économique du territoire.

Évidemment, d'autres caractéristiques que celles mentionnées en exemple font également partie de la structure topo-économique du territoire. Dans l'utilisation de l'outil d'aide à la décision, l'analyste choisira en conséquence les éléments du territoire qui lui seront nécessaires pour étudier la politique ou la stratégie dont il est question. Ce travail de recherche s'attachant à analyser des politiques de mobilité et d'environnement comme exemples d'application de CoBAYe, l'outil d'aide à la décision théorique développé, les exemples choisis sont évidemment représentatifs de ces deux caractéristiques topo-économiques.

6.2.4 Comment est caractérisé un changement de « structure topo-économique » ?

Un changement de structure topo-économique est une caractéristique importante de l'outil d'aide à la décision CoBAYe. En effet, comme présenté en section 6.2.3, la structure topo-économique permet à l'analyste et au collègue d'experts qui se penchent sur la politique publique

à évaluer de se munir d'un cadre d'analyse qui reflète au mieux les interdépendances entre les agents économiques et le territoire sur lesquels ils sont actifs, afin d'anticiper et de prévoir les effets de la politique publique à l'étude (dans le cas d'une évaluation *ex-ante* utilisant l'outil CoBAYe. Ainsi, il est également important de savoir quand la structure topo-économique évolue, afin de pouvoir appréhender l'apparition (ou la disparition) de nouveaux acteurs ou de l'apparition (ou la suppression) de nouvelles interactions entre acteurs existants, dont il serait nécessaire que les effets soient connus voire anticipés par le décideur.

Par définition, un effet induit de type I caractérise un changement de structure topo-économique, alors qu'un effet induit de type II caractérise un effet qui contribue à changer la structure topo-économique. Les deux notions d'*effet induit* et de *changement* de structure topo-économique sont donc étroitement liées. Plus exactement, on définit un changement de structure topo-économique (STE) par les caractéristiques suivantes. Quand l'une au moins se produit, alors il y a changement de STE :

- **un (ou des) changement(s) institutionnel(s) qui affecte(nt) le comportement d'agents économiques.** Par exemple, une politique publique dont le but est d'améliorer la qualité de l'air parisien en interdisant l'accès à la ville aux véhicules les plus polluants³ change évidemment le comportement des agents économiques, que ce soit par l'établissement d'un nouvel itinéraire ou par un changement du mode de transport utilisé pour réaliser le déplacement initial. Ce changement de comportement peut d'ailleurs se traduire par l'établissement de nouveaux marchés (par exemple celui du véhicule électrique, considéré comme « non-polluant » selon les modalités de la politique publique) ou par un changement de stratégies des acteurs sur les marchés existants (les professionnels de la livraison devront par exemple adapter leur gamme de véhicules pour pouvoir continuer à desservir la capitale, et cette adaptation peut se traduire par de nouveaux achats pour renouveler leur flotte de véhicules) par exemple.
- **l'apparition ou la disparition d'une (ou de) ressource(s) sur le territoire.** Par exemple, la mise en place d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques sur le

3. La notion de *véhicule polluant* a été préalablement définie par l'arrêté du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, du Transport et du Logement (MEDDTL) relatif à la classification des véhicules en fonction de leur niveau d'émissions de polluants atmosphériques, mis à disposition des collectivités territoriales en août 2011 (voir Annexe D).

- territoire parisien, aujourd’hui dépourvu d’une telle ressource infrastructurelle, caractérise l’apparition d’une ressource sur le territoire, prête à engendrer de nouveaux marchés et de nouveaux comportements de mobilité par les agents économiques du territoire parisien.
- **la réappropriation d’une (ou des) ressource(s) existante(s) initialement sur le territoire.** Par exemple, le taux de possession de véhicules individuels par les agents économiques du territoire et leur préférence à utiliser ce mode de transport pour effectuer leur déplacement est une des ressources du territoire considéré, faisant partie intégrante de sa STE. Un changement de comportement de ces agents qui utilisent maintenant leur véhicule individuel comme un outil de covoiturage caractérise une réappropriation de la ressource existante initialement, et change la STE du territoire, puisqu’on observe de nouveaux comportements et même l’apparition de nouveaux marchés.
 - **l’apparition ou la disparition d’interdépendances entre agents économiques,** que ce soit par la création d’interactions entre agents existants (création ou suppression d’activités publiques ou privées) ou par l’apparition d’agents ou de marchés qui n’existaient pas dans la STE initiale par exemple. La mutualisation de la flotte de véhicules électriques d’un groupe industriel avec de nouveaux partenaires afin de partager le coût d’usage (et peut-être également le coût d’achat du véhicule, selon les modalités contractuelles du partenariat de mutualisation) de ses véhicules, par leur utilisation respective en fonction des horaires des besoins de ces différents partenaires, fait apparaître de nouveaux comportements, et même également de nouveaux marchés. Cet exemple caractérise donc bien un changement de STE.

Enfin, de façon plus visuelle, la section 6.4.1 illustre un changement de STE à l’aide de graphes représentant différentes STE⁴

Un parallèle avec le circuit de Schumpeter

Les notions de *période* et de *structure topo-économique* sont essentielles à la compréhension et à la manipulation de l’outil CoBAYe, puisque c’est précisément l’intégration des changements des structures topo-économiques - que l’on peut entendre comme dans le concept schumpétérien

4. Dans ce cas, le réseau associé représente la structure topo-économique du territoire à l’étude, et ce sont les changements (apparition ou suppression de nœuds ou d’arcs, ou épaississement ou amincissement des arcs) à l’intérieur de ce réseau qui caractérisent le changement de STE. Une présentation plus détaillée est fournie en section 6.4.1.

de « circuit » - qui est une des raisons, avec la prise en compte de l'incertitude, qui distingue une évaluation par CoBAYe d'une évaluation par la traditionnelle analyse coûts-bénéfices sociale. En effet, nous pensons que la temporalité adoptée dans CoBAYe, et notée P_0, P_1, \dots, P_n , a une signification très voisine du concept de « circuit » de Joseph A. Schumpeter (1934). Dans son œuvre théorique sur le développement économique, Schumpeter introduit le concept de « circuit » pour décrire l'évolution d'un système économique et établit par là une différence fondamentale entre deux « états » : une phase économique de stabilité, appelée « circuit », qui s'oppose à « l'évolution », elle-même envisagée comme un « changement spontané et discontinu dans le cadre du circuit » (Perroux, 1965, p.76, adapté de). Le circuit de Schumpeter ne coïncide pas avec la statique néoclassique, bien que Schumpeter emprunte beaucoup à la pensée walrasienne, et ne fusionne pas non plus avec *l'état d'équilibre* entendu selon Solow (1956). En effet, dans le circuit, l'économie ne perd pas son identité propre, mais évolue au cours « d'événements non-économiques, plutôt de nature technique, politique ou sociale, qui constituent le cadre concret de la vie d'une société » (Perroux, 1965, p.76, adapté de).

Par ailleurs, ce n'est pas l'absence de changement qui caractérise la phase économique de stabilité de Schumpeter, mais plutôt la réplication à l'identique de facteurs de production donnés, y compris dans le cas d'une croissance démographique. En d'autres termes, la croissance existe bien au sein du circuit, mais il s'agit d'un changement de quantité, voire d'ampleur, et non de nature, car il provient des mêmes types d'entreprises et des mêmes types de biens, présents en nombres progressivement plus élevés. Dans l'outil CoBAYe, la croissance au sein d'une structure topo-économique donnée (notée P_i) peut par exemple être considérée comme des stratégies privées menées par certains acteurs qui contribuent à créer de la valeur en développant leurs activités dans une même configuration économique et territoriale, sans altérer la nature et la forme des fonctions d'offre ou de demande.

Au contraire, *l'évolution* - entendue comme le passage d'un circuit à l'autre - est le résultat d'événements purement économiques, associés à une nouvelle combinaison de facteurs de production. En conséquence, l'évolution dans l'outil CoBAYe est mise en évidence par les effets

induits⁵, qui contribuent à changer la structure sociale, technique et économique du territoire, c'est-à-dire sa structure topo-économique et le passage de P_i à P_{i+1} . Le parallèle entre la notion de STE et la vision schumpéterienne doit cependant être maintenu comme tel, et rester bien délimité. En effet, l'évolution de Schumpeter provient d'une rupture endogène des routines du circuit (le concept bien connu de « destruction créatrice »), qui prend la forme d'une « innovation », alors que l'évolution dans CoBAYe correspond à une modification substantielle des conditions - territoriales, sociales ou économiques - de la structure topo-économique du territoire.

6.3 Intérêts de la représentation formalisée pour l'utilisation du modèle

Comme exposé en section 1.2, une approche formelle et abstraite permet de mieux analyser, comprendre, expliquer et justifier un problème et une de ses solutions. La formalisation conceptuelle de l'outil CoBAYe a ainsi plusieurs intérêts, à la fois pour l'analyste lui-même, mais aussi pour des critiques et des praticiens. L'idée essentielle ainsi véhiculée étant qu'une représentation sous forme mathématique ou graphique peut être réappropriée par des publics divers, avec même peut-être une visée d'amélioration de l'outil ou d'étendue de ses résultats.

1. **La clarification des hypothèses prises.** La formalisation mathématique oblige à clarifier les hypothèses prises dans la construction de chaque structure topo-économique (par rapport au scénario de référence) : les acteurs qui sont concernés, les interactions existantes à cette STE et leurs relations de dépendance, manifestées par les *effets* qui y sont identifiés. De même, la construction d'équations de comportement pour chaque acteur et chaque effet - lorsque cela est possible - oblige l'analyste à les envisager avec recul et à fournir une description fidèle dans ces équations de la teneur des discussions qui ont émané du processus de concertation ; les acteurs concernés par la politique pouvant amender ou pas la représentation de l'analyste, en fonction du choix de son commanditaire : le décideur. Nous pensons qu'un outil d'aide à la décision ne doit pas être comme une « boîte noire » pour le décideur, c'est-à-dire quelque chose dont il ne comprend pas le fonctionnement, dont il

5. En toute rigueur, il s'agit là en particulier des effets induits de type *II* qui contribuent à un changement de structure topo-économique, par opposition aux effets induits de type *I* qui, eux, découlent d'un changement de structure topo-économique.

ne connaît pas les hypothèses, mais dont il accepte les résultats. En souhaitant placer le décideur au cœur même de l'analyse, le processus CoBAYe permet au contraire à celui-ci d'avoir à l'esprit les hypothèses qui ont été retenues dans la construction de l'outil, dans celle de chaque STE, et aussi au cours du processus de concertation où il a été invité à participer.

- 2. Les hypothèses sont réfutables.** Le fait d'avoir des hypothèses clarifiées dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe, visibles de façon transparente que ce soit dans la STE, dans les équations de comportement des effets ou dans la *frise* représentant leur propagation, permettent au décideur, à un autre acteur ou même à un autre analyste de les réfuter, de les améliorer ou de les faire évoluer. Contrairement à la portée opaque et statique d'une analyse coûts-bénéfices par exemple, l'outil d'aide à la décision CoBAYe est au contraire transparent et donc dynamique. En effet, en recevant une analyse coûts-bénéfices d'un projet qu'il a commandée, le décideur retient bien souvent ses résultats et pas forcément la démarche qui a été choisie pour y arriver ; et pour cause, celle-ci est rarement décrite. Dans les analyses coûts-bénéfices les plus détaillées, il est fait mention des acteurs envisagés, des principaux effets pris en compte et, (parfois) des méthodes de valorisation monétaire retenues, mais jamais dans un détail aussi explicite que la *frise* que propose CoBAYe ou la représentation des interdépendances entre chaque acteur au moyen d'une STE. De plus, le processus CoBAYe est dynamique et constructif, dans le sens où il permet au lecteur (en particulier le décideur) d'ajouter des effets s'il en a perçus de nouveaux, voire d'enlever ceux qui ne lui paraissent pas pertinents au regard du cadre spatio-temporel considéré. Les hypothèses étant explicitement formulées, elles sont visibles, transparentes, réfutables et modifiables, et les conclusions de l'analyste peuvent être amendées par le décideur lui-même en fonction de ses modifications puisque le processus CoBAYe d'aide à la décision a été acquis par le décideur⁶. Il peut alors construire lui-même une interprétation qui peut

6. Attention, cette modification « à loisir » des résultats de l'analyse par CoBAYe ne signifie pas du tout que le processus de l'analyse peut aboutir à n'importe quel résultat. Des détracteurs pourraient affirmer que CoBAYe permet au décideur de trouver des résultats nets positifs pour n'importe quelle politique publique qu'il souhaite mettre en place. Mais nous pensons qu'ils auraient tort. L'outil n'est pas un outil de justification, il est un outil de construction de la politique publique. Certes, les hypothèses sont modifiables et par conséquent, les résultats aussi, mais le processus reste mutuellement transparent, à la fois pour le décideur et, en aval, pour des journalistes, des critiques, des citoyens ou d'autres décideurs qui voudraient vérifier les calculs menant aux résultats. Étant donné que le processus est mutuellement transparent, aucun décideur ne souhaiterait « tricher » pour obtenir des

s'ajouter à celle de l'analyste : la décision relève alors de ses critères, et CoBAYe n'est qu'un outil qui permet d'aider à sa prise de décision.

3. **Une construction concomitante à la politique publique.** L'outil d'aide à la décision CoBAYe s'inscrit dans une approche positive de l'économie, c'est-à-dire qu'il ne cherche pas à expliquer au décideur « ce qui devrait être » mais plutôt « ce qui est ». Cela est possible grâce à la définition de chaque STE au cours du processus d'analyse de la propagation des effets. La transparence des hypothèses et même des résultats, notamment de la frise qui montre la propagation des effets, permet au décideur d'anticiper les réactions des acteurs concernés par la politique publique qu'il souhaite mettre en œuvre et, de surcroît, elle lui permet aussi de modifier sa planification, soit dans le temps (par exemple en prévoyant une politique de communication bien antérieure à la mise en place opérationnelle de l'action publique), soit dans l'espace (par exemple en sachant quelle partie du territoire est plus « fragile » qu'une autre, il peut décider de mesures d'accompagnement spécifiques à celle-ci), soit par l'ajout ou le retrait d'une politique de soutien (le décideur peut par exemple choisir de joindre à la politique de création d'une infrastructure de bornes de recharge pour véhicules électriques une politique de subventions à l'achat de ces véhicules). L'outil CoBAYe permet ainsi, grâce à la connaissance des anticipations et des comportements des autres acteurs qui pratiquent le territoire, de faire évoluer dans sa construction-même la politique publique évaluée pour améliorer son efficacité, ou son équité par exemple.
4. **Une programmation informatique facilitée.** La clarification des hypothèses et des notations de la représentation formalisée de l'outil CoBAYe permet aussi de faciliter sa programmation numérique. Les différentes structures topo-économiques peuvent être facilement programmées, de même que les graphes orientés (en fonction du logiciel choisi) et les équations de comportement peuvent être implémentées de telle sorte que l'ajout de paramètres ou la modification de variables est aisée et même reproductible. La difficulté principale reste la définition de la structure topo-économique du territoire dans le scénario de référence et dans celui de projet ; les différents critères retenus pour les modéliser devant être compatibles avec l'outil informatique envisagé.

résultats positifs quand l'analyse ne le montre pas. Une réévaluation au moyen du même outil mettrait rapidement en défaut ses conclusions.

5. **La construction d'enquêtes facilitée.** La représentation conceptualisée de l'outil d'aide à la décision CoBAYe et, en particulier, des équations de comportement relatives aux effets identifiés, permet d'anticiper et de connaître les effets dont certains paramètres sont cruciaux pour obtenir des résultats fiables. Une fois ces paramètres identifiés, il est alors possible d'approfondir des études et par exemple d'orienter, de calibrer et de mener les enquêtes nécessaires pour l'obtention d'informations qui pourront alors permettre de modéliser ces paramètres. En effet, connaître les paramètres sur lesquels il est important de faire des mesures ou de mener des enquêtes est essentiel pour avoir des résultats pertinents, et la représentation mathématique favorise grandement leur construction. En identifiant les effets de la politique publique au moyen du processus CoBAYe, un analyste (ou un décideur) peut bien sûr déjà avoir à l'esprit les effets dont la mesure (voire l'attribution d'une valeur monétaire) n'est pas aisée à connaître, mais l'identification précise du (ou des) paramètre(s) manquants est facilitée par la volonté de donner une formulation conceptuelle à ces effets. En effet, alors que la représentation mathématique peut sembler *a priori* une formulation abstraite « inutile », nous pensons au contraire que, en cherchant à transformer en des termes conceptuels un effet identifié et son interaction avec d'autres effets, l'analyste met le doigt plus précisément sur le paramètre essentiel à évaluer.
6. **Une anticipation des résultats possible.** La représentation conceptuelle des fonctions de comportement permet certes d'identifier les paramètres essentiels à mesurer pour avoir des résultats fiables, mais ce n'est pas la seule façon d'en avoir. En effet, quand la « traduction » des effets qualitatifs mentionnés par les acteurs concernés en fonctions de comportement est possible, l'analyste est alors en mesure de chercher une fonction qui représente l'évolution d'un paramètre de l'équation : les informations nécessaires peuvent être explicites, comme l'équation de la fonction, mais parfois des informations partielles sur la forme de la courbe suffisent à donner un ordre de grandeur ou une attente sur le paramètre, et donc le résultat de l'équation de comportement de l'effet identifié (croissance, inflexion, optima...). Des résultats provisoires sont donc possibles et même attendus en modélisant les effets identifiés par des équations de comportement.
7. **Des résultats prospectifs sur de futures politiques publiques.** De plus, à la manière d'une programmation informatique, la représentation des effets sous forme conceptuelle

permet également d'anticiper des résultats chiffrés pour des politiques d'amélioration ou d'extension. Dans le cas de la création d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris par exemple, l'ancien Maire de Paris a souhaité installer 700 prises de recharge sur le territoire (Conseil de Paris, 2013). L'évaluation par CoBAYe de cette politique est développée au Chapitre 9 et donne des résultats qu'on peut distinguer en première approche en deux catégories :

- (a) d'une part, des résultats chiffrés correspondant à des multiplications de données quantitatives (dépendantes du nombre 700 et de divers prix de biens et services marchands)
- (b) et, d'autre part, des résultats - qualitatifs ou quantitatifs - qui prennent en compte par exemple des effets de seuil (la mise en place de 700 bornes ne procure pas le même signal chez un entrepreneur que la création de 7 000 bornes par exemple).

Une fois ces résultats connus, un décideur peut souhaiter étudier une extension de la politique publique actuelle en fonction des premiers retours qu'il perçoit sur l'efficacité de son action. Ainsi, une extension du réseau de 700 à 3 500 bornes de recharge installées peut être étudiée « facilement » (moyennant quelques hypothèses sur les effets de seuil et les réactions d'agents économiques face aux signaux publics) si les effets identifiés lors de l'évaluation de la politique initiale de création des bornes ont pu être traduits en équations de comportement : en effet, il « suffit » alors (avec la même mise en garde que l'explication de la parenthèse précédente) de changer des valeurs dans le processus CoBAYe (notamment remplacer 700 par 3 500). Ce changement simpliste est possible et rapide grâce à la représentation conceptuelle, mais il faut bien avoir conscience qu'il ne s'agit là que d'ordres de grandeur dans les résultats : la multiplication par 5 des effets précédents fournit une bonne approximation sans doute (en faisant l'hypothèse de linéarité des effets), mais d'autres études ou enquêtes doivent évidemment être menées pour obtenir des résultats plus fiables.

8. **Une analyse de centralité possible.** En représentant la structure topo-économique du territoire par un graphe, l'analyste peut mettre graphiquement en évidence les acteurs concernés par la politique et leurs relations d'interdépendance. En représentant chaque acteur par un nœud, il est alors possible de chercher le degré entrant et le degré sortant

de chaque nœud, et ce pour chaque représentation de la STE donnée. On peut alors en déduire plusieurs intérêts :

- (a) *Une analyse statique de la STE à un horizon temporel \mathbb{P}_i .* En prenant une « photographie » de la STE à un horizon temporel \mathbb{P}_i donné, il est possible de calculer les degrés entrant et sortant pour chaque nœud. Ceux-ci indiquent à quel point l'acteur représenté par le nœud est moteur ou récepteur respectivement des interactions entre les différents agents économiques du territoire représentés. En d'autres termes, il est alors possible de savoir qui bénéficie ou qui, au contraire, pâtit de la mise en place de la politique publique. L'identification des acteurs les plus « sensibles » n'est pas négligeable dans un outil d'aide à la décision collective, et nous pensons que le décideur peut être amené à s'intéresser aux populations qui seraient les plus réticentes à la mise en application de sa décision, en particulier si l'équité est un de ses critères de choix, ou même dans le cas où il n'est pas intéressé par le bien-être collectif mais s'il identifie ces populations à des votants potentiels.
- (b) *Une analyse dynamique de l'évolution d'un acteur sur la durée de l'évaluation.* Par ailleurs, en s'intéressant uniquement à un acteur A_j dans la propagation des effets (de \mathbb{P}_i à \mathbb{P}_{i+1} puis à \mathbb{P}_{i+k}), et en utilisant la même technique que précédemment, l'analyste (ou le décideur) est en mesure de savoir quelle est l'évolution de l'acteur A_j au cours de la durée d'évaluation. Est-il initialement moteur, puis uniquement récepteur, à la manière d'un acteur public keynésien ? Est-il plutôt de plus en plus récepteur, agissant en pur « consommateur » de la politique publique ? Son évolution est-elle moins discernable ? Dans le premier exemple cité, et en particulier si l'acteur A_j est l'acteur public dont le représentant est le décideur lui-même, il serait évidemment intéressé à savoir comment devrait évoluer son action si elle tenait compte des anticipations sur les autres acteurs, ce qui lui permettrait par exemple d'anticiper sur de futures politiques de soutien à mettre en œuvre pour garantir l'efficacité de l'action publique initiale. Dans le deuxième cas, par exemple, l'acteur public peut être tenté de demander à l'acteur A_j de participer au financement de la politique publique puisque celui-ci est un « consommateur » (ou bénéficiaire) net. Des exemples de ces interprétations sont présentés plus en détail en section 9.4.5.

- (c) *Une comparaison de plusieurs politiques qui répondent au même objectif.* Si le décideur a par exemple un choix à faire entre deux politiques publiques dont les objectifs sont similaires, le même raisonnement que précédemment peut l'aider à prendre sa décision. En effet, en se concentrant sur ses propres actions (l'acteur public est A_j), le décideur peut entreprendre un raisonnement d'analyse dynamique de centralité et chercher à savoir laquelle des deux politiques nécessite une plus grande intervention de sa part. Autrement dit, les deux options de choix peuvent-elles être discriminées en fonction de l'ampleur du rôle moteur initial du décideur ? ou de la nécessité de faire un suivi permanent par la mise en place de politiques de soutien ou de développement ? ou encore de l'ampleur des bénéfices reçus en période \mathbb{P}_{i+k} ? En fonction des critères propres au décideur, la représentation graphique de la STE peut ainsi également l'aider à faire son choix.
- (d) *Une étude plus fine de la topologie du graphe de la STE considérée.* Enfin, dans le cas où il est possible :
- d'une part, d'attribuer une valeur monétaire à chaque effet identifié (*i.e.* la valeur d'un arc) ou, plus rigoureusement, de faire en sorte que les valeurs de tous les arcs soient exprimées dans la même unité (qu'elle soit monétaire ou non),
 - et d'autre part, de garantir que les relations entre acteurs sont linéaires,
- alors une analyse topologique des graphes représentant les STE est possible, et les résultats auxquels on peut s'attendre seraient plus approfondis (Lantner et Lebert, 2013). Néanmoins, les pré-requis mentionnés sont malheureusement extrêmement rares.

6.4 Formalisation de l'outil d'aide à la décision CoBAYe

6.4.1 La structure topo-économique du territoire

Étant donné que la méthode CoBAYe est fondée sur l'identification de modifications dans la structure topo-économique du territoire analysé, il nous a paru important de proposer une représentation précise de ce concept. Comme expliqué dans la définition donnée en section 6.2.3, la structure topo-économique (STE) vise à intégrer, aux acteurs et processus économiques usuels, les données géographiques propres au territoire, c'est-à-dire aussi bien ses aspects physiques

que ses ressources humaines. Inclure la géographie du territoire signifie prendre en compte les facteurs contextuels susceptibles de moduler les interactions économiques et les comportements des groupes sociaux ; ces processus socio-économiques seront donc dépendants de paramètres géographiques et territoriaux, et pourront également avoir une influence rétroactive sur les paramètres qui les affectent. Le réseau ainsi constitué sera la représentation de la STE à un instant donné.

Composantes de la structure topo-économique (STE) La structure topo-économique d'un territoire rassemble des acteurs qu'elle fait interagir en fonction de paramètres géographiques, territoriaux et économiques. Nous distinguons désormais :

les paramètres géographiques, c'est-à-dire les éléments constitutifs du territoire Ω ;

les acteurs, incluant les agents économiques, les groupes sociaux, les institutions et individus capables de modifier la STE, et formant un ensemble noté A ;

les effets, formant l'ensemble E des comportements et des actions des acteurs les uns sur les autres et des interactions entre acteurs et territoire.

Le territoire Ω

Dans les applications développées aux Chapitres 9 et 10, le territoire considéré est celui sur lequel on souhaite réaliser l'évaluation. Il s'agit parfois du territoire pour lequel le décideur a la compétence, ou peut être plus étendu (les collectivités territoriales alentour, affectées par la décision) ou même plus restreint (cas d'une « Zone à Trafic Limité » sur les seuls quatre premiers arrondissements de Paris par exemple)⁷.

1) Ω_1 : Les caractéristiques topographiques et climatiques :

1. la surface de la ville (en km^2) $\omega_{1,1}$;
2. le taux de pollution de l'air $\omega_{1,2}$;
3. le taux de pollution sonore $\omega_{1,3}$;
4. la probabilité de pluie en journée $\omega_{1,4}$;
5. l'amplitude de variation annuelle de température $\omega_{1,5}$;

7. Le choix des nombres placés en deuxième indice dans les notations dépend uniquement de l'ordre des effets identifiés dans les Chapitres 9 et 10.

2) Ω_2 : Les caractéristiques institutionnelles :

1. les taxes relatives à la possession d'un véhicule (de taux $\omega_{2,1}$ pour les véhicules en circulation, $\omega_{2,3}$ pour ceux immatriculés à Paris, $\omega_{2,3}$ pour les véhicules d'entreprise, etc.);
2. le montant de l'assurance $\omega_{2,4,\nu}$ pour la possession d'un véhicule ν ;

3) Ω_3 : Les ressources infrastructurelles :

1. la densité de voies $\omega_{3,1,\nu}$ adaptées au véhicule ν ;
2. la densité d'aires de livraison $\omega_{3,2}$;
3. la densité de rues piétonnes $\omega_{3,3}$;
4. la densité de l'éclairage public $\omega_{3,4}$;
5. la distribution électrique dans la ville $\omega_{3,5}$, définie de sorte que $\overline{\omega_{3,5}}(x, y)$ mesure l'ampleur de la fourniture d'électricité autour de (x, y) et vérifie la normalisation $\iint_{\Omega} \overline{\omega_{3,5}}(x, y) dx dy = 1$;
6. le nombre de panneaux et de marquages au sol nécessaires dans la mise en œuvre opérationnelle de la ZCR (Chapitre 10) $\omega_{3,6}$;
7. le taux de dégradation de $\omega_{3,6}$: $\omega_{3,7}$;
8. le nombre de bornes de recharge pour véhicules électriques $\omega_{3,8}$;
9. le nombre de pistes cyclables $\omega_{3,9}$.

4) Ω_4 : La mobilité des agents économiques :

1. la proportion d'habitants qui se déplacent régulièrement $\omega_{4,1}$;
2. la proportion d'habitants $\omega_{4,2,\mu}$ qui utilisent le mode de déplacement μ ;
3. le taux de possession $\omega_{4,3,\nu}$ du véhicule ν ;
4. la densité $\omega_{4,4}$ de places de stationnement;
5. la densité $\omega_{4,5}$ de places de stationnement réservées aux utilitaires;
6. la densité $\omega_{4,6,\mu}$ de points d'accès aux transports en commun (mode μ);
7. la préférence du mode de déplacement μ' sur le mode μ : $\omega_{4,7,\mu \rightarrow \mu'}$;
8. la distance médiane $\omega_{4,8,\mu}$ du trajet fait par un utilisateur du mode de déplacement μ , et le temps médian $\omega_{4,9,\mu}$;
9. le nombre d'usagers arrêtant de circuler en véhicule thermique $\omega_{4,10}$;

10. la fréquence d'usage des bornes de recharge pour véhicules électriques $\omega_{4,11}$;
 11. le nombre de véhicules électriques en circulation $\omega_{4,12}$;
 12. le nombre de vélos à assistance électrique en circulation $\omega_{4,13}$;
 13. le nombre de véhicules thermiques en circulation $\omega_{4,14}$;
 14. le nombre d'utilisateurs qui choisissent de modifier leur parcours domicile-travail habituel en raison de la décision publique $\omega_{4,15}$;
 15. le pourcentage d'utilisateurs qui revendent leur véhicule thermique $\omega_{4,16}$;
 16. le nombre de taxis $\omega_{4,17}$;
 17. le nombre d'individus qui arrêtent de se déplacer à pied $\omega_{4,18}$;
 18. le nombre d'individus qui arrêtent de se déplacer en transports en commun $\omega_{4,19}$;
 19. le taux de congestion automobile $\omega_{4,20}$;
 20. la proportion de véhicules de livraison par rapport aux véhicules circulant à Paris $\omega_{4,21}$.
- 5) Ω_5 : Les ressources quotidiennes accessibles aux agents :
- la densité d'aires de logement ($\omega_{5,1}$), des lieux de travail ($\omega_{5,2}$), des lieux de loisirs ($\omega_{5,3}$), des lieux à stationnement transitoire (p.ex. écoles primaires) ($\omega_{5,4}$) etc. ;
 - le montant moyen du loyer $\omega_{5,5}$, et sa version spatialisée $\overline{\omega_{5,5}}(x, y)$ telle que pour tout quartier $Q \subset \Omega$, le loyer moyen de ce quartier soit $\iint_Q \overline{\omega_{5,5}}(x, y) dx dy$;
 - la fréquence d'accidents de la circulation $\omega_{5,6}$.
- 6) Ω_6 : Les ressources humaines :
1. le nombre de résidents $\omega_{6,1}$;
 2. le nombre d'actifs $\omega_{6,2}$;
 3. la valeur du temps libre, ou l'utilité du temps gagné $\omega_{6,3}$;
 4. la valeur du calme, ou l'utilité de la baisse de la pollution sonore $\omega_{6,4}$;
 5. l'utilité de ne pas avoir à se déplacer sous la pluie $\omega_{6,5}$;
 6. l'utilité de ne pas avoir à se déplacer à des températures extrêmes $\omega_{6,6}$;
 7. la valeur du développement durable, ou l'utilité de se voir y contribuer $\omega_{6,7}$;
 8. la valeur d'une place de stationnement $\omega_{6,8}$;

- 9. la valeur de la santé $\omega_{6,9}$;
- 10. le nombre d'agents de sécurité $\omega_{6,10}$.

Toutes ces caractéristiques sont bien sûr susceptibles d'être définies par l'analyste en fonction du territoire envisagé ou de l'identification des effets par les acteurs parties prenantes de la décision. Par ailleurs, ces caractéristiques sont définies à une STE bien précise. Par exemple, à la STE représentée en \mathbb{P}_0 , la valeur d'une place de stationnement est $\omega_{6,8}^{\mathbb{P}_0}$, alors qu'à la STE représentée en \mathbb{P}_1 , elle est de $\omega_{6,8}^{\mathbb{P}_1}$. On peut cependant également avoir $\omega_{6,8}^{\mathbb{P}_0} = \omega_{6,8}^{\mathbb{P}_1}$, en fonction des changements qui ont eu lieu du passage de \mathbb{P}_0 à \mathbb{P}_1 .

Supra-territoire $\tilde{\Omega}$ désigne le territoire français, et les paramètres explicites ci-dessus s'appliquent aussi à $\tilde{\Omega}$, en utilisant la notation $\tilde{\omega}$.

Notations spécifiques Les véhicules usuels ont été notés :

- a** pour automobile, voiture particulière ;
- b** pour bus ;
- t** pour train ;
- u** pour véhicule utilitaire ;
- v** pour vélo ;

et chaque véhicule ν a pour équivalent électrique le véhicule ν^* . L'ensemble des véhicules est V et il contient l'ensemble des véhicules électriques V^* . L'ensemble des véhicules à combustion est noté V^\dagger .

Non-exhaustivité Les six familles $(\Omega_1, \dots, \Omega_6)$ comportent bien sûr d'autres composantes que celles écrites ci-avant, qui devront être considérées le cas échéant. Il s'agit en fonction de la situation d'estimer si tel paramètre est ou non négligeable : certaines localités voient ainsi les températures extrêmes affecter le choix de rouler à vélo, en hiver comme en été, tandis que d'autres ne changeront pas du vélo au métro ou au bus malgré la pluie. Si ce dernier exemple donne lieu à deux grandeurs ($\omega_{1,4}$ et $\omega_{6,4}$), il faut dans le cas général décider de la pertinence des grandeurs au cas par cas.

Résolution spatiale De plus, dans l'optique d'une analyse spatiale, pour laquelle la localisation intra-territoriale prend de l'importance, une grandeur $\omega_{\alpha,\beta}$ peut être traitée en tant que champ de probabilité $\overline{\omega_{\alpha,\beta}}$. Ainsi $\overline{\omega_{4,4}}(x,y)$ désignera par exemple la densité locale de places de stationnement au voisinage du lieu $(x,y) \in \Omega$, de sorte que la densité globale dans la ville entière vaille bien $\omega_{4,4} = \iint_{\Omega} \overline{\omega_{4,4}}(x,y) dx dy$. Dans la suite, la notation des grandeurs spatialisées suivra ce modèle ($\overline{\omega_{5,1}}$ la densité locale de résidences etc.).

Résolution sociale Chaque grandeur relative aux préférences des habitants pourra être considérée, lorsque nécessaire, comme la moyenne pondérée des préférences de groupes plus réduits, voire des préférences individuelles.

Résolution générale De la même manière, en fonction de la précision requise lors de l'analyse (liée à la précision de la mesure), chaque grandeur pourra être détaillée, en une fonction de densité si son espace de variation est continu, ou en une moyenne pondérée s'il est discret⁸. Les paramètres climatiques présentent des variations périodiques, mais aussi démographiques de la ville (le tourisme estival modifie la nature des résidents de la ville, dont les habitudes de mobilité sont donc différentes, par exemple plus portées sur les transports en commun). Ainsi la grandeur $\widehat{\omega_{4,4}}(t)$ permettra d'explicitier la dépendance temporelle de la densité de places de stationnement, par exemple dans les rues résidentielles où le stationnement est autorisé seulement à certains horaires. Il suffit de la définir en fonction de cette régulation (le stationnement est gratuit dans Paris de 19h à 7h le lendemain par exemple) et de s'assurer que $\omega_{4,4} = \int_0^{24} \widehat{\omega_{4,4}}(t) dt$. De même, la proportion d'habitants utilisant le vélo (noté v) pourra être répartie suivant leur revenu, ou leur catégorie socio-professionnelle (CSP), afin d'analyser les comportements des acteurs différenciés selon ces critères, et les grandeurs traitées seront alors respectivement $\widehat{\omega_{4,3,v}}(u)$ ou $\widehat{\omega_{4,3,v,c}}$ vérifiant :

$$\omega_{4,3,v} = \int_0^{\infty} \widehat{\omega_{4,3,v}}(u) du = \sum_{c \in \{CSP\}} \widehat{\omega_{4,3,v,c}}$$

8. Fonction de densité et moyenne ne sont que deux manifestations du concept de mesure, et il n'est pas nécessaire de les distinguer l'une de l'autre. Lorsqu'il s'agira dans la suite de détailler les grandeurs selon une variable, tout ce qui est classifiable en des catégories significatives (types de véhicules, groupes sociaux, catégories d'agents économiques, arrondissements etc.) sera traité sur le mode discret ; les autres grandeurs le seront en continu.

De même la probabilité de pluie $\omega_{1,4}$ pourra être explicitée en une densité temporelle $\widehat{\omega}_{1,4}(t)$ de sorte que $\omega_{1,4} = \int_0^{24} \widehat{\omega}_{1,4}(t) dt$, permettant d'analyser les comportements à l'échelle horaire, ou en une densité de précipitation $\widehat{\omega}_{1,4}(h)$ avec $\omega_{1,4} = \int_0^\infty \widehat{\omega}_{1,4}(h) dh$.

Supra-territoire Il faudra noter $\tilde{\Omega}$ l'échelle supérieure incluant le territoire (p.ex., la région Ile-de-France pour la ville de Paris) et $\tilde{\omega}_{\alpha,\beta}$ les grandeurs propres à ce supra-territoire mais qui pourront être nécessaires dans l'analyse des processus intra-territoriaux. Par exemple, pour l'étude de l'effet sur la pollution intra-urbaine de la circulation autour de la ville, la valeur de $\omega_{1,2}$ dépendra par exemple de la quantité d'habitants en déplacement $\tilde{\omega}_{4,1}$ et de la densité de voies $\tilde{\omega}_{3,1,\nu}$ pour les véhicules ν concernés.

Évolution Il est essentiel de garder à l'esprit que ces paramètres géographiques ne décrivent le territoire qu'à un instant donné, et qu'ils sont en principe tous susceptibles de changer, quoique à des rythmes variables.

L'ensemble des acteurs A

La seconde composante de la STE est l'ensemble A des acteurs présents sur le territoire. Elle se compose des agents économiques et des autres groupes humains capables de modifier le territoire lui-même, ou les conditions d'interaction des agents. La prise en compte de ces deux types d'acteurs permet la mise en évidence du lien constitutif entre les processus économiques et le contexte géographique, les premiers altérant le second, tout en étant contraints par lui. Conformément à l'esprit de la section 6.2.3, il faut comprendre dans le contexte non seulement les conditions matérielles du territoire, mais également le cadre social des comportements. C'est afin d'insister sur l'importance des paramètres géographiques dans la STE, et donc dans l'analyse CoBAYe, que la place accordée à Ω dans le présent modèle est semblable à celle de A , comme il sera expliqué ci-après.

Caractéristiques relatives aux acteurs Pour chaque acteur A_j , les caractéristiques pertinentes seront :

1. ses trois principaux objectifs, ordonnés, précisés par des grandeurs $a_{j,1}$, $a_{j,2}$, $a_{j,3}$;

2. sa rationalité, pouvant varier et présente sous de multiples facettes, dénotées par $a_{j,4}$, $a_{j,5}$, $a_{j,6}$, $a_{j,7}$;
3. ses moyens (son budget $a_{j,8}$);
4. ses partenariats;
5. sa localisation $a_{j,18}$, définie de sorte que $\overline{a_{j,18}}(x,y)$ soit positif lorsque (x,y) est un lieu correspondant à A_j (emplacement professionnel, lieu de résidence etc.), nul ailleurs et vérifie la normalisation $\iint_{\Omega} \overline{a_{j,18}}(x,y) dx dy = 1$;
6. ses cibles ou points d'intérêt;
7. ses moyens d'action (subventions, fiscalité, réglementation, concertation).

Dans les applications des Chapitres 9 et 10, les acteurs sont notés comme suit :

- A_1 : la Ville de Paris;
- A_2 : la Région Ile-de-France;
- A_3 : l'État;
- A_{31} : les communes entourant Paris;
- A_{32} : les communes plus éloignées;
- A_4 : le groupe Bolloré, gérant initial des bornes électriques et de l'auto-partage à Paris (AutoLib);
- A_5 : les fabricants de vélos électriques;
- A_6 : l'entreprise de construction et d'installation des bornes;
- A_{61} : les entreprises déjà existantes au sein de la STE;
- A_7 : les entreprises de livraison;
- A_{71} : les entreprises de livraison fluviale;
- A_{72} : les entreprises de livraison ferroviaire;
- A_8 : les commerces de Paris;
- A_9 : les artisans et utilitaires;
- A_{10} : les entreprises d'auto-partage;
- A_{11} : les organisateurs de covoiturage;
- A_{111} : les entreprises existantes de mobilité;
- A_{12} , A_{13} : l'industrie automobile, française et étrangère;

- A_{121} : les concessionnaires automobiles ;
- A_{14} : EDF ;
- A_{15} : les stations-service ;
- A_{151} : les garagistes ;
- A_{17} : les utilisateurs de véhicules thermiques ;
- A_{18} : les utilisateurs de véhicules électriques ;
- A_{19} : les citoyens/les particuliers ;
- \tilde{A}_{21} : les autres villes de France ;
- A_{22} : les entreprises nouvellement créées ;
- A_{23} : la SNCF ;
- A_{24} : le STIF ;
- A_{241} : la RATP ;
- A_{25} : l'industrie pharmaceutique ;
- A_{26} : les taxis ;
- A_{27} : les médecins ;
- A_{230} : la police.

L'ensemble des effets E

Définition Les effets traduisent les interactions des acteurs les uns avec les autres ou avec le territoire.

Au sein du territoire, les agents économiques échangent bien sûr des biens et des services, et produisent des externalités qui seront absorbées par le territoire. Par ailleurs, par leurs activités, leurs comportements et leurs choix institutionnels, les acteurs peuvent modifier directement le territoire, pris dans l'acception large expliquée à la section 6.2.3. Ce faisant, les conditions dans lesquelles évoluent les acteurs sont altérées, traduisant une rétroaction du territoire sur les processus économiques, sous forme de contraintes ou d'opportunités. Ces processus dans leur ensemble forment la structure topo-économique du territoire, qui peut être représentée sous la forme d'un graphe d'interactions (Figure 6.1), où deux types de sommets désignent les acteurs et les composantes du territoire, et des arcs orientés dénotent les effets.

Incontestablement, au sein d'un territoire donné, des interactions ainsi décrites se produisent perpétuellement et impliquent la quasi-totalité des acteurs, de sorte que leur nombre au cours d'une période donnée est immense. Toutefois, il est superflu de recenser l'ensemble des processus économiques du territoire, dont plusieurs n'ont pas de pertinence eu égard à l'action étudiée. De plus, l'optique de la méthode CoBAYe est d'analyser les conséquences sur la STE d'une action spécifique, telle une politique publique, par rapport à un scénario de référence (ou « au fil de l'eau »). Or, il peut s'avérer que l'action initiale laisse intactes plusieurs des interactions, de sorte que la différence entre scénario de référence et scénario de projet est inchangée pour ces interactions en question : elles ne seront donc représentées graphiquement.

Pour ces deux raisons, nous intégrerons donc dans notre analyse de la structure topo-économique uniquement des interactions qui sont créées ou modifiées à la suite d'une action perturbatrice, et qui porteront ici le nom d'effets (relatifs à cette perturbation, voir section 4.6.2). Les interactions acteurs-acteurs et acteurs-territoire identiques à ce qui se produit au cours du scénario de référence seront omises dans l'ensemble E d'effets retenu : elles constituent cependant le contexte dans lequel se déroulent les changements sur lesquels l'analyse se concentre.

Pour les notations, les effets donnent lieu à des caractéristiques qui seront notées e pour les valeurs dimensionnées et ϵ pour les taux. Celles-ci seront de plus indicées en fonction de l'acteur dont l'action est leur principale cause, et notées en référence à la période de début de l'effet. Enfin, leur caractère direct, indirect ou induit sera noté respectivement par les lettres D, I ou U. Finalement, la valeur $e_{j,\alpha}^{\mathbb{P}_k, I}$ et le taux $\epsilon_{j,\alpha}^{\mathbb{P}_k, I}$ sont propres au α -ième effet attribué à l'acteur A_j : cet effet a débute à la période \mathbb{P}_k et est indirect.

Topologie de la STE La représentation graphique utilise des sommets et des arcs ; chaque sommet circulaire est un acteur, chaque sommet carré une composante du territoire et chaque rectangle une politique publique, considéré comme un acteur virtuel qui centralise des effets. Les effets eux-mêmes sont représentés par des arcs orientés, de la composante qui agit vers celle sur qui l'action se fait ; les arcs doublement orientés indiquent une interaction réciproque.

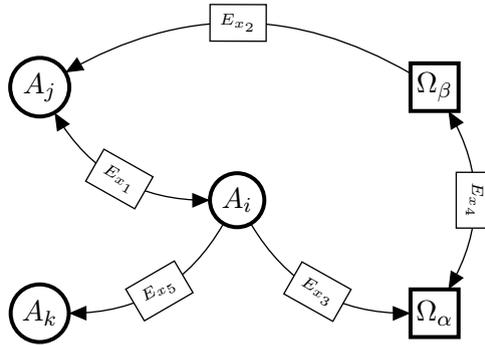


FIGURE 6.1 – Représentation graphique des éléments constitutifs de la structure topo-économique. Les acteurs A_i , A_j et A_k interagissent entre eux et avec les composantes Ω_α et Ω_β du territoire, via les effets E_{x_t} .

Précisant la représentation interconnectée de la STE, nous observons que ce sont les effets qui expriment sa topologie. Leur organisation met en évidence les interdépendances des acteurs et, en guidant la recherche de relations causales, elle permet de répartir les acteurs en différentes catégories. Ainsi, ceux qui sont sujets à des contraintes complexes (que traduit un degré de connectivité entrant élevé) pourront être les cibles vers lesquelles orienter l'action publique ultérieure. Quant à ceux dont le rôle est critique pour la structure (degré de connectivité sortant élevé), il s'agira d'attacher une importance extrême à la prévision de leur comportement.

De plus, la forme du graphe elle-même peut renseigner sur les conséquences à envisager. Par exemple, l'existence de boucles (circuits fermés) dans le graphe devra alerter l'analyste quant à la possibilité de rétroactions, sources d'interdépendances plus complexes : une boucle se manifestera dans l'expression de la variation des caractéristiques par une variation temporelle d'ordre supérieur⁹, indiquant la possibilité, soit d'une amplification des effets (terme de rétroaction positif), soit d'une auto-tempérance (terme de rétroaction négatif). Il est essentiel d'estimer les risques d'amplification, afin d'éviter la dérive incontrôlée d'un processus et, dans cet objectif, l'étude de la topologie de la STE permet de visualiser les rétroactions et d'analyser leurs conséquences qualitatives.

9. Nous nous limitons ici à une analyse en temps discret (l'application du chapitre 9 se fera en effet en termes de différence finie ; mais la conséquence d'une boucle causale sur la dynamique d'un système complexe peut se comprendre comme un couplage accru entre les équations différentielles qui décrivent ce système, et par suite d'ordres de dérivation supérieurs.

6.4.2 Évolution de la STE

La structure topo-économique d'un territoire n'est pas figée, mais présente en général un dynamisme lié à l'entrepreneuriat, à l'aménagement, à l'innovation, ou encore à la culture même du lieu. Cette évolution correspond au scénario de référence, où l'action à évaluer n'a pas été effectuée. Dans l'expression des équations concernant la dynamique de la STE, nous notons $\Delta_k^{k+1} X$ la variation d'une grandeur X de \mathbb{P}_k à \mathbb{P}_{k+1} .

Suite à l'action initiale (politique publique), en revanche, la STE peut être modifiée par l'apparition décalée d'effets dans le temps, ou parce que certains effets ont la capacité d'en induire de nouveaux. Inversement, par sa définition-même, les variations dans la STE peuvent être dues à l'adjonction d'acteurs ou de composantes du territoire¹⁰, mais ce sont principalement les changements topologiques d'interactions au sein de $A \cup \Omega$ qui gouvernent les changements de structure.

Pour illustrer cette idée, considérons quelques modifications élémentaires de STE. La Figure 6.2 schématise un changement de STE dû à l'apparition conjointe d'un acteur (A_k) et d'un effet (E_{x_5}). Bien sûr, il n'est pas nécessaire que l'acteur A_k apparaisse dans le territoire, mais simplement que son rôle soit altéré par rapport à la situation de référence. Ainsi ce changement signifie que A_k cesse d'agir comme ce que prévoit le scénario de référence, et qu'au moins un des processus économiques, comportementaux ou institutionnels auxquels il participe, soit une conséquence de la perturbation initiée dans la politique étudiée. En retour, l'entrée de A_k dans le système étudié ajoute une contrainte sur A_i , sur qui il agit (l'effet est ici unilatéral), et A_i se retrouve donc un peu plus dépendant qu'auparavant, ou autrement dit, l'environnement topo-économique de A_i est plus contraignant.

A_k peut par la suite développer une interaction avec un autre acteur, A_j (Figure 6.3), ce qui conduit à une modification plus profonde de la STE. En effet, le graphe qui n'avait qu'un circuit fermé $((A_i, A_j, \Omega_\alpha, \Omega_\beta))$ en a acquis un second : (A_i, A_k, A_j) . Tant que A_k n'est lié qu'à un autre acteur, l'évolution de ses caractéristiques peut être traitée plus aisément, car celles-ci

10. Désormais, afin d'éviter toute confusion concernant les variations de STE dans le temps, nous entendrons par STE simplement la STE analysée, c'est-à-dire la différence entre STE du territoire dans son intégralité et STE du scénario de référence.

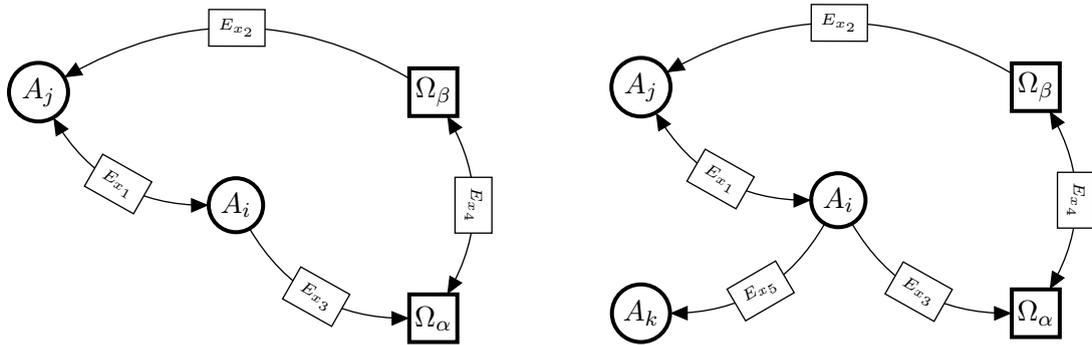


FIGURE 6.2 – Première illustration d’un changement de STE : apparition d’une interaction (l’effet E_{x_5}) entre l’acteur A_i et le nouvel acteur A_k , ajoutant au réseau une interaction isolée.

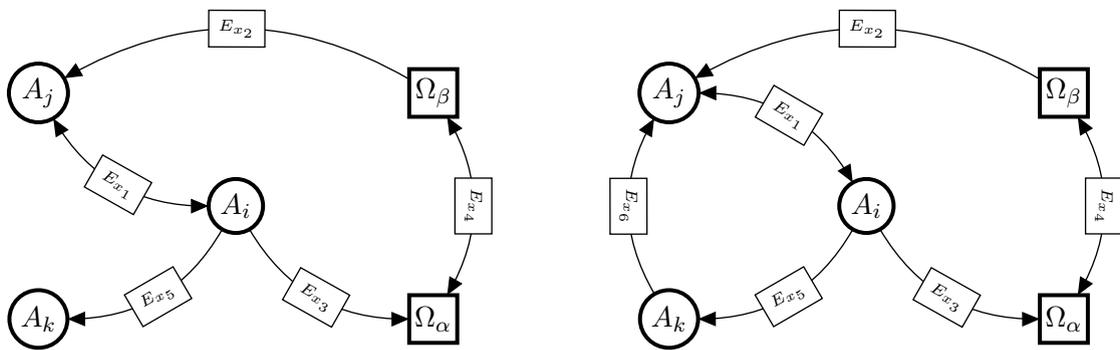


FIGURE 6.3 – Seconde illustration d’un changement de STE : apparition d’une interaction nouvelle (effet E_{x_6}) entre les acteurs A_j et A_k , menant à l’adjonction d’un circuit au réseau.

dépendront uniquement des caractéristiques de A_i . L’étude de la dynamique du système peut alors, ou bien prendre comme paramètres les caractéristiques de A_k en posant des hypothèses sur son comportement, ou bien laisser son cas de côté et y revenir après avoir établi l’évolution de A_i pour déterminer A_k en fonction. Le graphe peut en tout cas être dissocié pour une résolution partielle. En revanche, dès lors que les actions de A_k n’affectent plus uniquement A_i , mais aussi A_j , le circuit (A_i, A_k, A_j) contient la possibilité de rétroactions des caractéristiques de ces acteurs les uns sur les autres, et empêche leur analyse séparée. Il faut alors étudier le circuit dans son ensemble, ce qui est plus compliqué en termes de traitement numérique ; et s’attendre intuitivement à ce que des phénomènes auto-entretenus puissent émerger de ces interactions mutuelles.

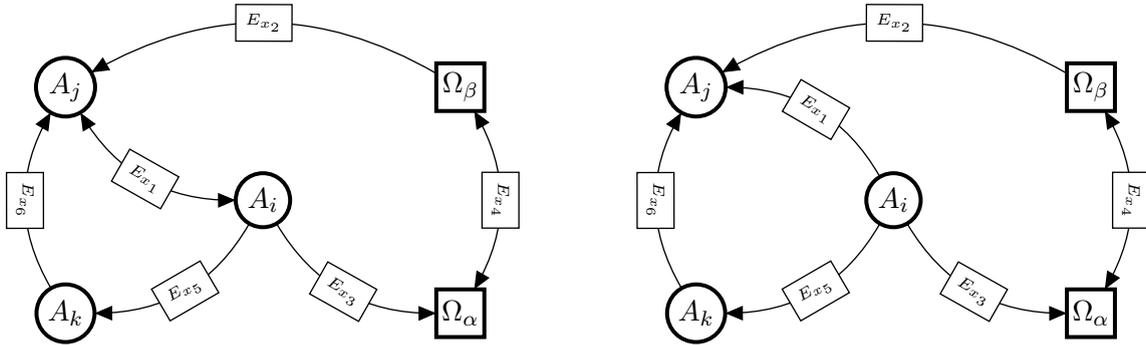


FIGURE 6.4 – Troisième illustration d’un changement de STE : altération de l’effet E_{x_1} , l’acteur A_j cesse d’agir sur l’acteur A_j .

Inversement, l’évolution d’un effet peut avoir un effet simplifiant sur le réseau. La modification représentée sur la Figure 6.4 considère le cas où l’acteur A_i cesse de dépendre de l’acteur A_j , tout en conservant son action sur lui. Dans ce cas, le circuit $(A_i, A_j, \Omega_\alpha, \Omega_\beta)$ n’est plus fermé, et le circuit (A_i, A_k, A_j) non plus. A_j se trouve n’avoir plus d’effet sur le reste de la STE, c’est-à-dire qu’aucune des caractéristiques des autres acteurs et composantes ne dépend plus de A_j . Au contraire, il est soumis à l’action de A_k et de A_i sans rétroaction, et dépendant également de la composante Ω_β du territoire. L’acteur A_j est donc dans une situation d’acceptation des conditions topo-économiques, ce qui doit alerter l’analyste sur un acteur qui n’a plus qu’un rôle passif en ce qui concerne les conséquences de la politique publique initiale. Inversement, l’acteur A_i n’est plus dépendant des autres composantes et ses caractéristiques en influencent plusieurs (A_j , A_k et Ω_α). Le rôle de A_i dans cette configuration est donc devenu primordial pour pouvoir prévoir l’évolution de la STE.

Périodes L’évolution de la structure topo-économique est susceptible de modifier les conditions de réception de la politique publique initiale et de complexifier ses conséquences. Aussi, il apparaît important, afin de guider la planification de l’action, de définir des périodes de stabilité de la STE durant lesquelles l’analyste peut estimer l’ampleur des effets des composantes de la STE les unes sur les autres sans devoir prévoir également les changements de STE.

Puisque les modifications de STE sont gouvernées, par définition, par l'apparition et la disparition d'effets, prendre pour période un intervalle de temps pendant lequel la STE est inchangée aboutirait à un nombre de périodes égal à celui des effets et à un découpage fin. Mais les périodes ainsi définies se chevaucheraient alors les unes les autres dans le temps réel (car les effets n'apparaissent ou ne disparaissent pas en succession parfaite), et l'utilisation du découpage en vue de la planification en serait compliquée. Une autre approche consiste à regrouper les effets pour ne former qu'un petit nombre de périodes qui se suivent sans se chevaucher et, ce faisant, à prendre pour critère de fin/début de période, des changements *majeurs* de STE.

Vue rétrospectivement, l'évolution précédente indique que la configuration pré-changement de la Figure 6.4 (c'est-à-dire le réseau de gauche) rend possible une structure critique, dont l'étude des aspects topologiques peut révéler l'éventualité à l'avance. Mais si celle-ci est importante, de même que la formation d'une boucle à la Figure 6.3, l'évolution de la Figure 6.2 apparaît en revanche plus bénigne. C'est à ce critère topologique qu'un changement majeur de STE peut être associé, de façon à obtenir finalement un nombre réduit de périodes pendant lesquelles il reste pertinent d'évaluer l'ampleur des interactions découlant de la politique publique. Les effets rassemblés dans chacune des périodes se trouvent alors approximativement concomitants, et le traitement s'en trouve quant à lui facilité. Un exemple d'un tel découpage avec les effets détaillés est présenté sur la frise¹¹ du Chapitre 9.

Typologie des effets relativement à la planification

Nous distinguons trois types d'effets : directs, indirects et induits, comme présenté en section 4.6.2.

Les effets directs regroupent les interactions qui sont créées ou supprimées suite à l'action initiale, conformément aux objectifs du décideur : ils sont donc en général bien identifiés et ont un effet connu sur les moyens a_{j8} du décideur j ; ils sont susceptibles de modifier la STE, c'est en effet en général une condition nécessaire à l'obtention d'un nouveau « point de fonctionnement » économique.

11. Le terme *frise* caractérise la représentation de la propagation des effets d'une politique publique dans son analyse par périodes et changements de STE dans l'outil CoBAYe.

Les effets indirects sont les interactions créées ou supprimées en conséquence des effets directs, et indépendamment des objectifs du décideur, avant que la STE ne change notablement.

Les effets induits enfin, sont quant à eux les effets découlant des effets directs et liés aux changements (majeurs) de STE. Il y a d'une part ceux qui entraînent un changement de STE, que nous nommerons effets induits de type I et, d'autre part, ceux qui émergent grâce aux conditions que propose la STE dans une nouvelle période, ce sont les effets induits de type II. Aussi bien les premiers que les seconds incluent les initiatives privées qui périssent ou qui émergent du fait des nouvelles conditions topo-économiques, ainsi que les politiques publiques qui doivent être supprimées ou mises en place après la politique initiale. Nous pouvons y rajouter également les politiques publiques dont l'implantation, prévue dans le cadre du scénario de référence, est évitée, voire abandonnée, également suite aux nouvelles conditions propres au scénario considéré. L'identification des effets de type I par l'analyste fait partie intégrante de la méthode CoBAYe, car elle est cruciale pour déterminer les débuts/fins de période associées aux changements majeurs de STE; et éviter ainsi à la fois les erreurs dues à une vision statique de la STE, et la confusion paralysante qui peut survenir lorsque l'évolution de la STE est traitée avec un découpage temporel trop fin.

Notation Le paramètre $e_{\alpha,\beta}$ caractérisant chaque effet sera noté selon le cas, respectivement $e_{\alpha,\beta}^D$, $e_{\alpha,\beta}^I$ ou $e_{\alpha,\beta}^U$ (respectivement pour des effets directs, indirects et induits) lorsque la catégorisation sera utile. Les Chapitres 8, 9 et 10 donnent un aperçu pratique de l'utilisation de ces effets.

6.4.3 Incertitude et horizon temporel

Aussi appliqué que soit l'analyste à la détermination des interdépendances des acteurs et des paramètres des effets d'une politique publique (l'action initiale), il lui est impossible d'affirmer avec certitude que l'effet se maintiendra stable dans le temps. Non seulement le devenir de l'effet devient de plus en plus instable à mesure que le temps passe, et en conséquence de moins en moins prévisible; mais il est même difficile en général d'estimer la durée totale d'un effet donné (voir section 5.2).

L'analyste doit donc se restreindre à ce qui peut être estimé, c'est-à-dire procéder à une évaluation jusqu'à un certain horizon temporel t^* (voir section 5.2.2) après lequel les effets deviennent trop imprévisibles. Ainsi, pour construire le scénario d'évaluation avant t^* , il peut avoir recours à des données passées, des conventions, des routines ou encore des probabilités subjectives émanant des acteurs parties prenantes du processus de décision (voir section 5.3)¹².

Incertitude calculable Plus précisément, soit un effet E_0 de paramètre caractéristique ϵ , et construisons l'arbre des évolutions possibles de cet effet aux périodes ultérieures (Figure 6.5).

À chaque niveau k cet arbre pousse de multiples branches, de probabilité $p_k^{(i)}$ propre à chacune des évolutions (i_m) envisageables pour l'effet à la période dénotée par t_k . Si certaines des probabilités peuvent en pratique trouver une estimation, il reste que la distribution des valeurs que prend ϵ s'étale avec le temps (sa variance $\sigma_\epsilon^2(t) = \sum_i \left(\left(\epsilon^{(i)}(t) \right)^2 \prod_k p_k^{(i)} \right)$ augmente avec t), et l'incertitude suit inexorablement.¹³ Par ailleurs, l'évaluation des bénéfices $\mathcal{B}_{E_0}(t)$ et des coûts $\mathcal{C}_{E_0}(t)$ liés à E_0 dépend de ϵ , les distributions de valeurs de $\mathcal{B}_{E_0}(t)$ et $\mathcal{C}_{E_0}(t)$ ont des variances au moins proportionnelles à $\sigma_\epsilon(t)$, et par suite,

$$\exists T_{E_0} \mid \forall t \geq T_{E_0}, \sigma_{\mathcal{B}_{E_0}}(t) > \alpha_{E_0} \wedge \sigma_{\mathcal{C}_{E_0}}(t) > \alpha_{E_0}$$

où α_{E_0} désigne une des raisons pour lesquelles le décideur ne souhaite pas poursuivre l'évaluation de E_0 (section 5.4).

Incertitude prise en compte dans CoBAYe Par ailleurs, il faut reconnaître que la dynamique d'un système tel que la structure topo-économique d'un territoire présente de multiples

12. La théorie des jeux économiques a utilisé le concept d'aversion au risque afin de nuancer la rationalité du calculateur dépourvu de peur face à l'incertain, et ainsi de quantifier la probabilité d'un individu à effectuer un coup de probabilité de succès connue, en fonction de l'ampleur de ce risque. Si le risque lui-même est modélisé par les différents moments des issues du jeu (les moments sont respectivement l'espérance $\sum_i x_i p(x_i)$, la variance $\sum_i x_i^2 p(x_i)$, et plus généralement les normes L_p des issues pondérées par leurs probabilités $\sum_i x_i^p p(x_i)$), alors le concept d'aversion au risque commence à pouvoir être mesuré en conditions expérimentales, dans le cadre de l'économie et la psychologie comportementales. Un exemple simple en est un joueur confronté à une suite de paris à deux issues telle que l'espérance de chaque pari soit constante mais la variance croissante. Ces deux grandeurs étant connues du joueur, de même que la distribution de probabilité des issues de chaque pari, le rang auquel il cesse de jouer permet de mesurer le risque maximal qu'il accepte de prendre (Chen et Krakovsky, 2010).

13. En effet, les fluctuations de processus tels que les valeurs boursières de matières premières ont pu être décrites comme suivant une distribution de variance non-bornée ; dans ces modèles, les conséquences possibles des variations de prix (par exemple celui du pétrole) sur les comportements des acteurs peuvent donc être amenées à diverger fortement (Mandelbrot, 2009).

non-linéarités (comme il sera esquissé au Chapitre 9 sur des cas concrets), ce qui peut le rendre instable. Un tel système serait très sensible à la fois aux conditions initiales (c'est-à-dire à l'erreur effectuée lors de la mesure des caractéristiques des trois composantes de la STE) et aux fluctuations à l'extérieur de territoire (comme des événements soudains dont les conséquences rejouent sur le territoire étudié), conduisant à des variations rapides au cours de l'évolution de la STE. En plus des causes de l'imprévisibilité évoquées en section 5.4, ces deux raisons font réaliser que l'incertitude calculée ci-avant devrait être accrue d'un terme qu'il n'est toutefois pas possible d'explicitier sans compréhension plus approfondie du système. Nous nous contenterons de conclure cette partie par le fait que la variance proposée comme mesure de l'incertitude liée aux différentes branches d'évolution possible d'un effet donné tend à sous-estimer l'incertitude globale.

Horizon temporel Dans la pratique, il s'agit de définir l'horizon temporel T_{E_0} jusqu'auquel les écarts éventuels de la réalité par rapport aux prévisions seront en-deçà du seuil de tolérance du risque. Pour cela, l'analyste gagne à ce que des acteurs d'horizons différents ainsi que le décideur se réunissent en un groupe de décision, maximisant ainsi l'information disponible pour la décision, et ce groupe pourra, collégialement, identifier T_{E_0} avec une fiabilité accrue.

Prix Nous ne cherchons pas dans ce modèle à étudier les prix qui interviennent certainement dans les prises de décision des acteurs (voir aussi le Chapitre 9) et nuancent les effets recensés dans la STE. D'une part, leur évolution est extrêmement difficile à prévoir, car liée à de nombreux facteurs et en général sujette à des variations rapides ; et, d'autre part, les acteurs - et notamment le décideur - ont individuellement un faible moyen de contrôle sur les prix (dans le cas où ils ne sont pas en situation de monopole), si bien qu'une telle étude dépasserait le cadre d'une analyse CoBAYe ayant pour but d'évaluer une politique publique. Bien sûr, il peut arriver que certains éléments propres à la politique mise en place peuvent avoir un prix fixé, au moins initialement, ou donner lieu à des subventions, et le décideur aura dans ces cas la charge de les choisir judicieusement. En conséquence, nous intégrerons les éléments dont la valorisation monétaire est cruciale et peut être choisie par un acteur, dans un effet dont la caractéristique $e_{\alpha,\beta}$ contiendra un prix qui devra lui-même être évalué avec application ; tandis que les autres prix

seront considérés dans CoBAYe comme donnés par le contexte (et notés $p(x)$ pour un élément quelconque de caractéristique x).

Scénario de référence La structure topo-économique, ou STE, que avons définie à la section 6.2.3, permet de décrire la structure économique d’un territoire, en intégrant ensemble les éléments de l’économie classique avec les caractéristiques propres au territoire, incluant sa partie humaine; de plus elle est le siège de processus économiques, comportementaux et institutionnels/culturels tous dynamiques (quoique à des rythmes différents), et évolue donc perpétuellement. La formalisation que nous proposons ici, en revanche, s’attache à l’analyse des changements qui surviennent, suite à une action (telle une politique publique) qui perturbe le système défini par la STE, conformément à l’objectif de la méthode CoBAYe. Elle se restreint donc à modéliser ces changements *par rapport au scénario de référence*, c’est-à-dire par rapport à ce qui serait advenu de la STE étudiée en l’absence d’action (voir section 7.3).

En conséquence, il faut constamment garder à l’esprit que les composantes explicitées : territoire, acteurs et effets; ne sont que le sous-système qui varie à cause de l’action initiale, tandis que les autres processus de la STE se poursuivent comme dans le scénario de référence.

6.5 Conclusion

L’outil d’aide à la décision CoBAYe ne peut pas être envisagé sans une composante territoriale. Nous pensons en effet que le territoire et surtout son évolution au gré des interdépendances engendrées par la mise en place de la politique publique évaluée sont essentiels pour comprendre les jeux d’acteurs qui s’y déroulent et pour que le décideur puisse anticiper les comportements qu’ils peuvent avoir.

Le modèle présenté dans cette partie nous a permis de préciser la représentation économique que nous avons choisie pour le territoire, vision sur laquelle se fonde la méthode CoBAYe d’évaluation de l’action d’un décideur. Le territoire, ses acteurs et les effets résultant de l’action initiale (par exemple une politique publique) constituent ensemble un système que nous avons nommé la structure topo-économique (STE) et qui sera le sujet de l’analyse CoBAYe. En effet,

la représentation de la STE met en évidence les interdépendances qui forment les conditions économiques et urbaines, humaines et territoriales au sein desquelles l'action initiale à évaluer (dans le cas des exemples pris jusqu'ici : la politique publique) s'avère fructueuse et conduit à l'objectif envisagé : c'est donc ce système qu'il s'agit d'étudier, sous ses aspects topologique et dynamique que nous avons présentés ci-avant. Le premier apport de ce modèle est donc de fournir le cadre conceptuel pour l'analyse. Nous avons également vu que l'étude théorique de la forme et de l'évolution de la STE en tant que réseau permet de guider l'intuition eu égard à des phénomènes complexes, issus de l'interdépendance des processus économiques. Nous verrons de plus, au Chapitre 9, comment cette étude peut être détaillée sur un cas précis, et l'intérêt qu'elle présente pour l'analyste.

De multiples et divers intérêts de la représentation conceptuelle de l'évaluation économique par l'outil d'aide à la décision CoBAYe ont été mis en évidence dans la section 6.3, notamment pour justifier l'intérêt de la formalisation des équations de comportement ou la représentation sous forme de graphes orientés des différentes structures économiques du territoire. Nous tenons particulièrement à mettre ce point en évidence : contrairement à l'analyse coûts-bénéfices, la valeur ajoutée de l'outil CoBAYe ne se limite pas à la seule valorisation monétaire des effets envisagés. L'aide à décision est au contraire multiple : la valorisation monétaire, acteur par acteur, en est une bien sûr, mais elle est loin d'être la plus importante. L'identification elle-même des effets engendrés par la politique publique est une valeur ajoutée, dans le sens où elle procure de l'information supplémentaire au décideur, de telle sorte qu'il puisse avoir plus d'éléments pour faire son choix. La prise en compte de l'incertitude permet de diminuer l'ampleur des résultats peu pertinents en proposant d'arrêter l'évaluation quand l'imprévisibilité devient trop importante. Ce chapitre montre également que le mode de représentation même des interdépendances entre acteurs du territoire peut amener à des analyses statiques ou dynamiques qui peuvent orienter les choix du décideur.

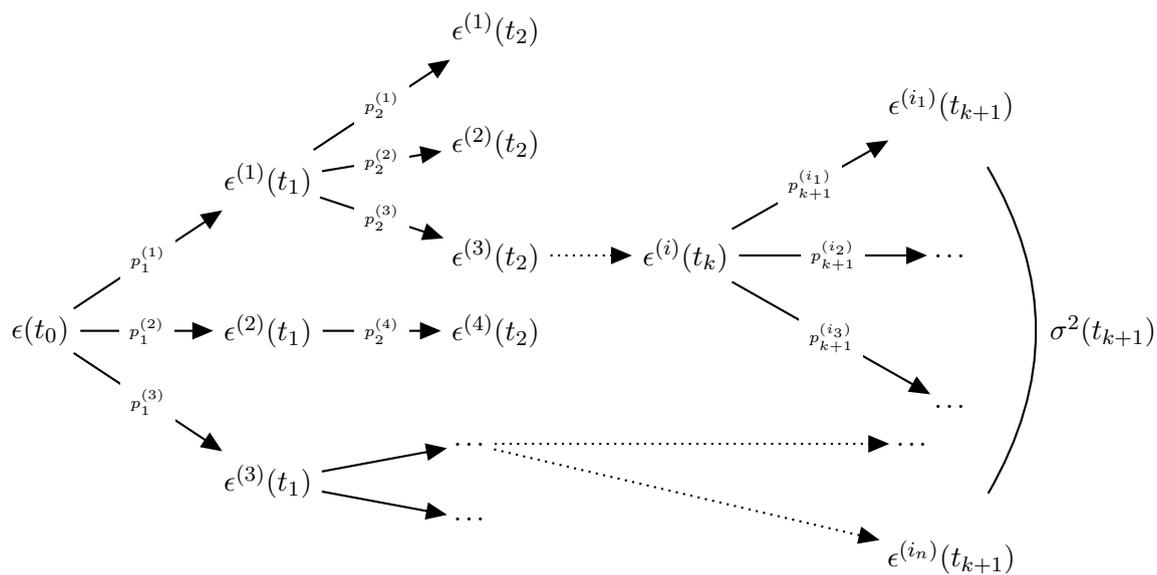


FIGURE 6.5 – Représentation sous forme d'un arbre des probabilités, des évolutions possibles d'un effet donné au cours du temps. $\epsilon^{(i)}(t_k)$ dénote la valeur de ϵ , la caractéristique de l'effet considéré, à la période t_k , dans l'hypothèse où elle suit l'évolution indiquée par (i) ; $p_k^{(i)}$ est la probabilité de la branche correspondant au chemin qui mène à cet état et la variance $\sigma^2(t_k) = \sum_i \left(\epsilon^{(k,i)}(t_{k+1}) \right)^2 p_k^{(i)}$ mesure l'ampleur de l'incertitude concernant la valeur de ϵ à t_k .

Conclusion de la deuxième partie

Dans le but de construire un outil d'aide à la décision systémique et fondé sur un cadre spatio-temporel le plus proche possible des contraintes réelles du décideur et du territoire sur lequel il a la compétence, nous avons tenté dans les chapitres précédents d'explicitier les éléments théoriques qui sous-tendent l'outil d'aide à la décision CoBAYe. En s'appuyant sur le Chapitre 1, la mise en évidence de ces éléments a permis, d'une part, de justifier son utilisation dans les applications décrites dans la Partie III et, d'autre part, de rendre transparentes les hypothèses sur lesquelles repose l'outil, afin de clarifier le cadre au sein duquel l'outil peut être utilisé et éventuellement amélioré.

L'outil CoBAYe est construit selon une approche positive de l'économie, c'est-à-dire que son objectif est de décrire les différentes interdépendances entre les acteurs du territoire sur lequel le décideur souhaite mener une politique. Ses résultats procurent également des informations au décideur pour l'aider à construire sa politique et éventuellement modifier sa planification spatiale ou temporelle, en fonction des acteurs les plus affectés par exemple. Pour cela, l'hypothèse principale qui caractérise le comportement de ces acteurs est l'hypothèse de rationalité procédurale (Simon, 1955), c'est-à-dire que, contrairement à un comportement en *homo economicus*, les préférences (et également leur ordonnancement) des individus, dont le décideur, varient à mesure qu'ils acquièrent de l'information. De plus, pour faire leurs choix, ils ont recours à des règles de recherche, d'arrêt et de choix simples, qui nous semblent caractériser la nécessité pour un décideur de faire des choix dans un environnement contraint par le temps, incertain et dont l'information le caractérisant n'est pas parfaite. Les paradoxes expérimentaux qui ont mis en défaut certains des axiomes de Von Neumann et Morgenstern (1944), comme ceux d'Allais (1953c) et d'Ellsberg (1961), justifient d'ailleurs l'hypothèse retenue, selon laquelle l'individu associé

au processus de décision n'est pas soumis à une rationalité parfaite. Des modèles alternatifs de comportement de l'individu sont alors privilégiés, comme la théorie des perspectives de Kahneman et Tversky (1979), qui contribuent à mettre en évidence l'aversion au risque ou à l'ambiguïté du décideur, par exemple, qui oriente ses critères de décision. Par ailleurs, les interdépendances entre ces différents acteurs et l'incertitude qui les entoure ne peuvent pas être envisagées sans tenir compte dans l'outil d'aide à la décision du territoire qu'ils pratiquent (Pecqueur, 2008). Ainsi, dans le but de rendre compte de la propagation des effets engendrés par les modifications de la structure économique du territoire et de ses interdépendances avec les acteurs concernés, nous avons défini le concept de *structure topo-économique* du territoire (Chapitre 6), dont l'évolution rend opérationnelles à la fois la méthode d'identification des effets engendrés par la politique publique (Chapitre 4) et la construction de scénarios d'évaluation de la politique publique avant l'horizon temporel au-delà duquel l'imprévisibilité de ces effets est trop importante (Chapitre 5).

Afin de construire la typologie qui permet d'identifier les effets engendrés par la politique publique qui est évaluée, nous avons cherché à prendre appui, dans le Chapitre 4, à la fois sur des travaux théoriques et empiriques qui traitent de l'interdépendance entre les acteurs d'un même territoire. Le Tableau économique de Quesnay (1758) et la théorie de l'équilibre général de Walras (1874) jettent les bases de la prise en compte des effets d'interdépendance, en explicitant notamment respectivement le rôle de l'activité industrielle dans le développement de l'économie et la formation des prix entre les acteurs sur différents marchés. L'analyse « *input-output* » de Leontief (1937) procure un éclairage plus important en essayant de rendre visible et de façon exhaustive les interactions des différents secteurs industriels à l'échelle d'un territoire à l'aide d'une matrice de coefficients techniques qui matérialisent ces effets d'interdépendances. Bien que l'outil CoBAYe ne fait pas appel à des coefficients quantitatifs, l'analyse *input-output* est une source d'inspiration particulièrement importante pour CoBAYe dans le sens où une méthode similaire peut être mobilisée pour représenter les effets directs et indirects de la mise en place d'une politique publique lorsque la structure topo-économique du territoire est inchangée. Par ailleurs, la théorie des jeux - et en particulier des jeux psychologiques (Rabin, 1993; Camerer, 2003) - met en évidence le rôle important des mécanismes de coopération et de concertation dans la recherche d'une solution efficace de jeux d'acteurs. Enfin, deux méthodes opérationnelles sont nécessaires pour la définition des effets directs, indirects et induits engendrés par la politique

publique, et leur identification au moyen de la typologie proposée par CoBAYe. En effet, d'une part les « *wider economic effects* » (Banister et Berechman, 2000) prennent en compte des effets externes sur l'économie dont une partie est envisagée au sein des effets indirects et, d'autre part, la méthode des effets telle que décrite par Greffe (1997), présente une typologie des bénéfices directs, indirects et induits engendrés par des politiques culturelles qui permet, dans une certaine mesure, de renforcer la typologie que nous proposons dans l'outil CoBAYe. Cette typologie rend alors possible l'identification opérationnelle d'effets directs, indirects et induits de la politique publique évaluée, conséquences des anticipations, comportements et actions des différents acteurs participant au processus de décision CoBAYe (voir section 7.2). Enfin, dans le but de prendre en compte le cadre spatio-temporel au sein duquel se déroule l'action publique, cette typologie d'effets utilise une représentation du territoire réceptacle de la politique publique sous la forme de différentes structures topo-économiques. cela permet alors également d'envisager les « *opportunity benefits* » de la politique publique, entendus comme les effets caractérisant l'intégration d'acteurs à des échelons territoriaux différents intervenant au cours de la propagation des effets et à des horizons temporels plus ou moins éloignés de la décision initiale. Ce cadre théorique est une autre des valeurs ajoutées de l'outil d'aide à la décision CoBAYe, et permet de procurer plus d'informations au décideur à travers l'identification des différents effets engendrés par la politique publique initiale. Toutefois, cette identification ne peut pas être sans fin, et nous pensons qu'elle dépend de l'incertitude inhérente à l'environnement de la décision, mais aussi de celle caractérisant les acteurs eux-mêmes, ce qui fait l'objet du Chapitre 5.

En effet, nous pensons que l'évaluation d'une politique publique (ou d'une décision privée) ne peut pas s'imaginer sans l'incertitude qui y est associée, ne serait-ce que parce qu'elle aboutit à des résultats dont les marges d'erreur sont de plus en plus fortes. L'outil CoBAYe refuse par exemple d'envisager l'évaluation d'un projet sur une durée arbitrairement définie et exogène au processus de décision ou aux acteurs concernés. Nous proposons donc de construire le scénario d'évaluation d'une façon qui puisse prendre en compte l'incertitude :

- Pour chaque effet, les acteurs parties prenantes de la décision (dont le décideur) sont invités à formuler des probabilités objectives ou subjectives sur, d'une part l'occurrence et, d'autre part l'ampleur des effets directs, indirects et induits qu'ils ont identifiés. Cette formulation peut utiliser des données du passé, des analyses comparatives de territoires

considérés comme suffisamment proches de la STE étudiée ou encore des conventions, des repères partagés ou des routines des différents acteurs du processus de décision.

- Ensuite, pour chaque effet, il arrive un moment lorsque les probabilités envisagées sont de moins en moins prévisibles pour des raisons qui ont trait à l'incertitude radicale (Knight, 1921; Keynes, 1937), à l'incertitude psychologique « propre » et qui émane de la psychologie inhérente à l'individu (Arrow, 1965; Kahneman et Tversky, 1979), à l'incertitude environnementale (Simon, 1955) ou à l'incertitude comportementale (Akerlof, 1970; Williamson, 1985) de ces agents économiques (section 5.4). Au-delà de cet horizon, appelé t^* dans l'outil CoBAYe, nous proposons d'arrêter la construction de scénarios d'évaluation de l'effet étudié.

Ainsi, le processus d'identification des effets directs, indirects et induits de la politique publique, auxquels s'ajoutent les « *opportunity benefits* », est limité par l'incertitude à laquelle doivent faire face les acteurs participant à la décision : l'évaluation s'arrête donc à un horizon temporel déterminé de manière endogène au processus de décision proposé par CoBAYe.

Enfin, le Chapitre 6 donne une représentation conceptuelle de l'outil CoBAYe destinée à plusieurs objectifs (section 6.3), dont les principaux sont :

- l'obtention plus efficace de résultats et de méthodologies permettant d'en obtenir ;
- une analyse de centralité sur les graphes représentant les différentes structures topo-économiques, permettant d'évaluer le rôle des différents agents économiques d'un point de vue statique ou dynamique et qui peut, *in fine*, être un critère de décision ;
- enfin, et avec un peu plus de recul, une clarification et une transparence des hypothèses qui permettent de faciliter le travail de l'analyste, du décideur, des critiques éventuels et aussi des développeurs qui souhaitent améliorer ou modifier le processus d'aide à la décision CoBAYe.

Troisième partie

CoBAYe en pratique

Introduction de la troisième partie

Comme nous avons pu le voir dans les Chapitres 2 et 3, l'analyse coûts-bénéfices est un outil d'évaluation qui a d'abord été utilisé par des praticiens, avant de susciter un intérêt chez les théoriciens de la décision et les chercheurs en économie. En première lecture, il est possible de ranger leurs travaux en deux catégories :

1. Des travaux théoriques, qui mettent en évidence des débats ou des questionnements relatifs aux principes mêmes fondateurs de l'analyse coûts-bénéfices, comme le principe d'utilitarisme, ou encore la recherche de l'efficacité ou de l'équité (Robinson et Hammitt, 2011) ;
2. Des travaux à visée plus opérationnelle, qui s'interrogent sur la meilleure façon de tenir compte des effets visibles et à évaluer, compte tenu des difficultés techniques liées aux méthodes de calcul. Nombreux de ces travaux s'interrogent aussi sur les techniques de valorisation monétaire, notamment la prise en compte des biens et services non-marchands et le choix du taux d'actualisation adéquat.

La présentation que nous proposons de l'outil d'aide à la décision CoBAYe est aussi fondée sur une distinction entre théorie et pratique.

La Partie II a mis en évidence les éléments théoriques sur lesquels repose l'outil d'aide à la décision CoBAYe. En particulier, trois éléments mis en évidence par les résultats du Chapitre 3 ont fait l'objet de développements, ce qui a abouti à la construction d'un outil fondé théoriquement sur trois éléments novateurs par rapport à l'analyse coûts-bénéfices traditionnelle :

1. Prendre en compte les effets d'interdépendance engendrés par la politique publique évaluée, que nous proposons d'identifier au moyen des effets directs, indirects et induits, mais aussi des « *opportunity benefits* » (Chapitre 4) ;

2. Envisager la dimension territoriale et dynamique de l'analyse et, en particulier, l'évolution spatiale et temporelle du territoire sur lequel est appliquée la politique évaluée, que nous proposons d'appréhender par la construction d'une *structure topo-économique* de ce territoire (Chapitre 6) ;
3. Enfin, tenir compte de l'incertitude dans le processus d'évaluation. Quatre sources d'incertitude expliquent pourquoi l'imprévisibilité de chaque effet identifié devient trop importante au-delà d'un horizon temporel (Chapitre 5). En fonction de leur rationalité procédurale (Simon, 1955), les agents économiques concernés par le choix collectif - dont le décideur lui-même - déterminent donc en concertation quand arrêter le processus de décision. La durée d'évaluation est donc endogène au processus d'évaluation proposé par l'outil CoBAYe.

Une fois ces éléments théoriques posés et, avec l'objectif d'une utilisation, il est nécessaire de se demander si l'outil CoBAYe tel que proposé peut, d'une part, être appréhendé par des analystes pour évaluer des décisions - publiques ou privées - et, d'autre part, permettre réellement une évaluation qui dépasse les limites de l'analyse coûts-bénéfices traditionnelle (Chapitre 3). Nous proposons donc dans la Partie III :

1. Une présentation succincte sur la façon pratique d'utiliser l'outil CoBAYe. Cette présentation prend bien évidemment appui sur les éléments théoriques de la Partie II mais aussi sur certaines des caractéristiques de l'analyse coûts-bénéfices, dont par exemple les méthodes de valorisation monétaire. Elle fait l'objet du Chapitre 7, qui peut également être perçu comme un manuel d'utilisation de l'outil CoBAYe.
2. Un test réel de l'outil CoBAYe après dix-huit mois de construction. Avec une approche de recherche opérationnelle, entendue comme de la recherche en lien avec les praticiens, dans le but de tester la praticabilité de l'outil, nous avons pu organiser avec les services techniques de l'Agence de la Mobilité de la Ville de Paris¹⁴ un atelier de prospective de mobilité au cours duquel l'outil CoBAYe, alors dans une phase exploratoire, a été testé par des chercheurs et des praticiens pour évaluer des politiques de mobilité durable sur des scénarios de prospective construits par les services techniques de la Ville de Paris (Ruffin

14. L'Agence de la Mobilité fait partie de la Direction de la Voirie et des Déplacements de la Ville de Paris. Il s'agit d'un atelier de prospective qui sert à orienter les élus locaux, et en particulier l'adjoint au Maire de Paris sur la question de la mobilité, sur les conséquences de projets urbains, notamment en ce qui concerne les projets de mobilité, de transport ou d'environnement.

- et al.*, 2013). Cet atelier a permis de mettre le doigt sur divers éléments qui ont permis de renforcer la construction de l'outil, et c'est ce travail qui est développé dans le Chapitre 8.
3. Une illustration des résultats possibles d'une évaluation *ex-ante* d'une politique publique de la Ville de Paris pour traiter des questions de mobilité pour l'amélioration de la qualité de l'air. Il s'agit de la création d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris, financé et exploité, d'une part, par la Ville de Paris et EDF respectivement et, d'autre part, par le Groupe Bolloré. Ce deuxième test de l'outil CoBAYe permet notamment de montrer l'apport des outils développés dans la Partie II par rapport à une analyse coûts-bénéfices standard. Les méthodes et résultats développés dans le Chapitre 9 permettent à la fois d'analyser la politique dans son état actuel et aussi dans une visée plus prospective, par exemple dans le cas d'une extension de ce réseau de bornes de recharge dans le futur.
 4. Enfin, le Chapitre 10 conclut ce travail de thèse en répondant à l'Introduction Générale. En effet, ce travail de recherche a initialement été financé en décembre 2011 par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) et la Mairie de Paris pour évaluer les effets socio-économiques de la mise en place d'une « Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air » (ZAPA) à Paris ; et ce financement a notamment permis des rencontres quasi-quotidiennes avec des opérationnels de l'aménagement dans les services des deux institutions, mais également de façon régulière avec des chercheurs et praticiens de l'évaluation, du territoire, des pouvoirs publics, tous de disciplines différentes. Ces multiples apports ont ainsi permis à la fois :
 - de construire l'outil d'aide à la décision avec une visée transversale pour rendre compte du point de vue de chacun (Partie II),
 - et aussi de proposer une illustration de de résultats possibles de l'évaluation de la mise en opération du plan d'amélioration de la qualité de l'air successeur de la ZAPA : la Zone à Circulation Restreinte (ZCR), en tenant compte des contraintes réelles de décideurs et d'acteurs du territoire aujourd'hui (Chapitre 10).

Chapitre 7

Comment utiliser l’outil d’aide à la décision CoBAYe en pratique ?

7.1 Introduction

Après le développement des éléments théoriques qui sous-tendent l’outil d’aide à la décision CoBAYe dans la Partie II, nous avons cherché à présenter une méthode pratique d’utilisation de l’outil qui puisse être utilisée par des analystes aussi bien que par des praticiens. Ce chapitre peut ainsi être lu à la manière d’un manuel d’utilisation de l’outil d’aide à la décision CoBAYe. De plus, si l’outil CoBAYe est utilisé en tant qu’évaluation économique *ex-ante* d’une politique publique, l’analyste doit garder à l’esprit que, pour chaque effet, correspond un horizon temporel pendant lequel l’effet est prévisible, mais incertain. Afin d’avoir une analyse transparente, l’évaluateur¹ doit donc identifier pour chaque effet, l’horizon temporel approprié et analyser son incertitude, telle que définie au Chapitre 5 ; c’est-à-dire que, pour chaque effet, il arrive un horizon temporel après lequel sa prévisibilité ne peut plus être garantie : par conséquent, nous pensons que l’évaluation de cet effet ne devrait pas franchir ce seuil temporel, afin de ne pas diminuer la pertinence des résultats. Ce seuil temporel doit être soigneusement défini et, idéalement, par la consultation conjointe des partenaires et acteurs publics et privés.

1. Dans ce chapitre, les termes « analyste » et « évaluateur » désignent le même individu, c’est-à-dire une personne maîtrisant les techniques d’évaluation de l’outil CoBAYe et qui est appelée par le décideur pour animer et former les participants au processus de décision dont une mise en œuvre pratique est proposée à la section 7.2. A l’issue de ce processus de décision, sa tâche sera également d’analyser les résultats obtenus et/ou d’en proposer une évaluation, en fonction des souhaits du décideur.

Par ailleurs, en raison de cette incertitude et du manque d'informations dans une évaluation *ex-ante*, la construction de scénarios est nécessaire, afin d'associer des données quantitatives aux effets identifiés et ainsi réaliser des analyses de sensibilité. Ces scénarios peuvent alors être construits en s'appuyant sur des analogies, des études de cas, des enquêtes, des interviews, des groupes de travail ou sur des pratiques distinctes dans lesquelles les acteurs concernés se trouvent impliqués. En particulier, nous pensons qu'une séance de concertation au sein de laquelle les acteurs concernés sont amenés à réagir en fonction des anticipations des autres doit être une part intégrale de l'outil CoBAYe.

En effet, nous estimons que l'identification des effets directs, indirects et induits à travers l'outil CoBAYe, telle que proposée en section 4.6.2, ne peut se faire aisément par l'évaluateur seul. Les évaluations par CoBAYe seraient plus proches de la réalité seulement si les évaluateurs organisent des entrevues et des groupes de travail avec des chercheurs et des praticiens publics et privés tous ensemble. Ainsi, cela permettrait à la fois de rendre de meilleure qualité l'analyse-même des problèmes² (Annema et Mouter, 2013) et d'enrichir l'évaluation par des informations et des points de vue équilibrés puisque, si « une analyse bien menée tente d'être aussi réaliste que possible, il semble aller de soi que les analystes doivent utiliser toute information qui apparaît de nature à améliorer leurs prévisions, indépendamment du fait que le comportement semble rationnel ou de nature à améliorer leur bien-être » (Robinson et Hammitt, 2011).

Avec un objectif pédagogique de présentation des étapes de l'outil CoBAYe, nous commençons par exposer dans la section 7.2 différentes méthodes participatives qui ont été sources d'inspiration pour le processus de concertation envisagé pour mettre en œuvre l'outil CoBAYe. Puis, après avoir présenté l'importance d'un scénario de référence comme scénario de base à partir duquel envisager les effets de la décision (section 7.3), nous proposons une description de la construction du (ou des) scénario(s) de projet en quatre étapes (section 7.4) :

- (i) la section 7.4.1 montre le fonctionnement de l'outil lorsque le territoire est à structure topo-économique (STE) constante ;
- (ii) la section 7.4.2 décrit le procédé pour prendre en compte l'évolution de cette STE au cours du temps ;

2. « *Good-quality problem analysis* en anglais »

- (iii) la section 7.4.3 présente la typologie des effets qui est proposée à l'analyste, au décideur et aux participants de la séance de concertation pour les aider à identifier les effets engendrés par la décision et en tenant compte des évolutions spatio-temporelles des caractéristiques du territoire ;
- (iv) et la section 7.4.4 montre de façon opérationnelle un exemple de prise en compte de l'incertitude après détermination de l'horizon temporel t^* , après lequel l'évaluation est trop imprévisible.

Une fois ces étapes réalisées et si la décision est collective, c'est-à-dire que plusieurs décideurs doivent choisir, deux cas se dessinent :

1. Dans le premier cas, seul un scénario de projet est comparé au scénario de référence (section 7.5). Plusieurs méthodes (éventuellement cumulatives) sont alors envisagées pour aider à la décision : une explicitation et une interprétation de la *frise* temporelle des effets, une analyse comparée, statique ou dynamique, des graphes orientés qui représentent l'évolution des STE de référence et de projet, ou encore la valorisation monétaire, dans la mesure du possible, des effets identifiés. En particulier, la section 7.5.3 n'entre pas dans le détail, étant donné que l'étape de valorisation monétaire est optionnelle dans l'outil CoBAYe et ne présente donc pas de valeur ajoutée par rapport aux méthodes en vigueur dans l'analyse coûts-bénéfices. En revanche, nous montrons dans les Chapitres 9 et 10 qu'une évaluation *ex-ante* d'une politique publique au moyen de l'outil CoBAYe peut être très riche en informations et, en ce sens, peut aider à la décision, sans forcément avoir recours aux techniques de valorisation monétaire.
2. Dans le deuxième cas, deux ou plusieurs scénarios de projet sont comparés au scénario de référence³. En plus des méthodes citées plus haut, le choix d'une option (le scénario de projet qui semble le plus adéquat) doit alors éviter toute incohérence dans la décision. En nous inspirant de la méthode de Condorcet et de ses « raffinements », nous discutons alors des propositions qui se présentent au collège de décideurs pour faire leur choix (section 7.6).

3. En toute rigueur, quel que soit le cas considéré, le décideur peut aussi choisir de considérer plus d'un scénario de référence, différents à cause de visions politiques variées, par exemple.

7.2 La nécessité d'un processus de concertation

Le processus de concertation envisagé dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe est un de ses fondements les plus importants. En effet, en supposant que l'individu est soumis à une rationalité procédurale, l'analyste ou le décideur⁴ ne peuvent pas savoir *a priori* quelles sont les stratégies - qu'elles soient publiques ou privées - envisagées par les acteurs concernés par la politique. Par ailleurs, le processus d'identification des effets décrit en section 4.6.2 n'est pertinent que si plusieurs avis sont confrontés et notamment ceux des agents économiques affectés par l'action publique, car ils permettront ainsi de retranscrire de façon relativement fidèle l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées qui aura lieu une fois que l'action publique devient opérationnelle. Un processus de concertation est donc nécessaire, nécessitant pour cela une approche participative de la décision publique à la fois émanant du décideur et des acteurs concernés par l'action publique et volontaires pour participer à sa construction (Pateman, 2012; Fagence, 2014).

7.2.1 Une approche participative

Une approche participative préconise une implication active du « public » aux processus décisionnels, le public concerné dépendant du sujet abordé. Il peut regrouper des citoyens « lambda », les parties prenantes d'un projet ou d'une politique en particulier, des experts et même des membres du gouvernement ou des entreprises privées. En règle générale, les processus décisionnels peuvent être perçus comme un cycle en trois étapes comprenant la planification, la mise en œuvre et l'évaluation. L'approche participative peut alors être utilisée dans toutes ces étapes ou uniquement pour certaines d'entre elles.

Par ailleurs, on distingue différents niveaux de participation (Slocum *et al.*, 2006) selon que l'objectif est :

- la transmission d'informations (unidirectionnelle)
- la consultation (bidirectionnelle, mais la partie consultante délimite la question)

4. Dans ce chapitre, sauf mention explicite (par exemple dans la section 7.6) nous utilisons les termes « le décideur » ou « le collège de décideurs » pour désigner respectivement le (ou les) individu(s) qui a/ont la tâche de choisir parmi les options proposées celle qu'il(s) juge(nt) la plus adéquate.

- la participation active : fondée sur un partenariat dans lequel les citoyens, les parties prenantes, les experts ou les décideurs participent activement à un débat, plutôt politique. Toutes les parties impliquées peuvent alors délimiter la question dans une plus ou moins grande mesure. C'est plutôt cette acception qui est retenue dans la mise en œuvre de l'outil CoBAYe.

Enfin, il convient d'adopter une approche participative (Van Asselt *et al.*, 2001) lorsqu'on souhaite aborder :

- des thèmes qui nécessitent une étude éthique, sociale ou culturelle et qui peuvent réclamer un arbitrage entre des valeurs fondamentales et des principes ;
- des questions politiques qui passent par une sensibilisation du public, un processus d'apprentissage, la recherche de solutions et une adhésion émotionnelle ou morale à la décision finale ;
- des choix de politiques publiques qui s'appuient sur le principe de précaution ou sur le poids des évidences ;
- des valeurs et principes sous-jacents qui doivent être clarifiés avant de formuler des propositions détaillées ou des options de gestion des risques ;
- un ensemble clairement défini d'options ou de propositions qui soutiennent la recherche d'un consensus ou de solutions innovantes.

En particulier, pour les deux premières raisons, nous pensons qu'une approche participative est nécessaire au processus de décision de politique systémique.

7.2.2 Quelques méthodes participatives existantes

On distingue de très nombreuses méthodes participatives pour inclure le citoyen ou l'expert au processus de décision, lui permettant ainsi de s'impliquer et d'influencer le choix (Slocum *et al.*, 2006). Nous ne cherchons pas dans ce paragraphe à les présenter de façon exhaustive mais plutôt à identifier, parmi elles, celles qui nous paraissent les plus adaptées au processus d'aide à la décision proposé par CoBAYe. Nous en proposons alors cinq : la conférence de consensus, l'atelier de construction de scénarios, la méthode « *Future Search* », la méthode *DELPHI*, et le panel d'experts, dont nous présentons brièvement les caractéristiques ci-après (Neuman, 2006).

La conférence de consensus. À l'origine un moyen pour les citoyens d'influencer les décisions politiques, la méthode de consensus est une enquête centrée sur un groupe de 10 à 30 citoyens chargés d'évaluer un thème faisant débat.

De façon pratique, un panel d'experts « formateurs » est sélectionné pour former et introduire le panel de citoyens au sujet de manière objective, c'est-à-dire uniquement par un exposé des faits. Les citoyens identifient ensuite les principaux problèmes et questions soulevés par le thème du débat, et soumettent alors leurs préoccupations à un deuxième panel d'experts. Après évaluation des réponses des deux parties, un débat s'installe. En particulier, les citoyens peuvent réfuter les arguments des experts et conduire un contre-interrogatoire jusqu'à être unanimement satisfaits des réponses (Joss et Durant, 1995). Cette méthode permet ainsi à chaque partie prenante de voir le problème sous un angle nouveau. Un de ces points forts est qu'il résulte en une déclaration de consensus rendue publique sous la forme d'un rapport écrit par le panel de citoyens en toute indépendance, même si la conférence de consensus à la française ne recherche pas systématiquement le consensus, et laisse la possibilité d'émettre des opinions divergentes (Bourg et Boy, 2005).

Ce dispositif a déjà été utilisé pour des problématiques de décision collective en matière d'amélioration de la qualité de l'air à Paris. En effet, une « conférence de citoyens sur la pollution de l'air », selon les termes de la Maire de Paris, a été organisée par la Ville de Paris en novembre 2014 dans le cadre de la lutte contre la pollution atmosphérique. Le rapport des citoyens qui en découle présente notamment la procédure et les éléments qui ont été exposés par les experts formateurs aux citoyens d'une part et, d'autre part, les recommandations que les dix-neuf citoyens ont proposé aux élus pour contribuer à réduire la pollution atmosphérique dans la capitale (Avis Citoyen, 2014).

L'atelier de construction de scénarios. Cette méthode met l'accent sur les relations entre les événements et les prises de décisions. Les participants développent des visions de ce que sera le futur et font par conséquent des propositions d'actions à entreprendre pour s'assurer d'une issue favorable. En outre, elle est particulièrement utile lorsqu'il existe une probabilité de changement majeur, voire irréversible, et que les tendances dominantes risquent d'être défavorables sur le

long terme : c'est notamment le cas de la pollution atmosphérique à l'échelle d'un territoire ou encore de la production énergétique nationale par exemple.

De façon concrète, une équipe composée d'experts écrit plusieurs scénarios aux issues plus ou moins favorables et demande de la part des participants un travail d'analyse depuis le scénario qu'ils privilégient (ou le scénario le moins souhaitable) jusqu'au présent en retraçant la séquence des événements et des changements critiques. Par la suite, on demande aux participants (experts, décideurs, citoyens) d'écrire leurs propres visions du futur dans des scénarios et de refaire le travail d'analyse précédent, ce qui doit permettre, dans un troisième temps, aux participants :

- d'une part d'élaborer un plan stratégique qui motivera leurs actions si les événements critiques présentés dans les scénarios se produisent
- et, d'autre part, de se créer une vision commune. Les participants sont alors plus à même de comprendre les points de vue et les stratégies des autres (Ringland, 2002).

Enfin, cette méthode est effectuée à la fois en assemblée plénière et en petits groupes afin que tous les participants aient une chance d'être entendus.

La méthode « *Future Search*. » À nouveau, cette méthode interactive de participation permet de trouver dans une communauté des désirs communs pour le futur et donc un plan d'action à appliquer. En général, elle est utilisée localement lorsqu'une communauté est face à une situation de problème technologique et où les participants ne s'entendent pas sur leurs intérêts. Cela encourage alors les participants à s'ouvrir à d'autres points de vue et à développer leurs propres propositions.

De façon pratique, cette méthode se déroule en quatre phases.

1. Les participants décrivent comment le sujet les a affectés dans le passé.
2. Puis, ils décrivent ce qu'ils font actuellement sur ce sujet et ce qu'ils ont l'intention de faire.
3. Par petits groupes, ils établissent ensuite des scénarios sur le futur idéal pour tenter d'identifier les projets et visions qu'ils ont en commun.
4. Enfin, ils établissent un plan d'action qu'ils soumettent aux décideurs ayant participé.

Pour cela, il faut significativement, parmi les participants :

- des experts, c'est-à-dire des personnes qui détiennent plus d'informations sur le sujet (par exemple, des experts techniques) ;
- des élus ou des industriels, c'est-à-dire des personnes capables d'agir et de prendre des décisions ;
- enfin, des personnes qui sont concernées par le sujet et qui seront affectées par les décisions prises lors de l'atelier.

La méthode *DELPHI*. Créée en Californie par la RAND Corporation dans les années 1960, la méthode *DELPHI* est avant tout une consultation itérative d'experts (Dalkey et Helmer-Hirschberg, 1962). Pour sa mise en place, aussi bien virtuellement que face à face, il faut d'abord bien identifier le problème et les limites du domaine de recherche, puis s'assurer que chaque expert ait la même notion de ce domaine. Une fois cette étape réalisée, chaque participant (des experts de formation, générations et genres différents) complète un questionnaire sur la problématique qu'il envoie aux autres experts. Il reçoit ensuite de leur part un retour sur ses réponses et, à partir de ces informations et des autres questionnaires qu'il a lui-même reçus, il remplit une nouvelle fois le questionnaire, cette fois en expliquant précisément chacune de ses opinions qui divergent fortement de celles des autres. Il peut également changer d'avis suivant les explications des autres experts. Ce processus est répété autant de fois qu'il le faut, jusqu'à ce que chaque expert ait l'impression d'être complètement au fait de l'opinion des autres experts. Le point fort de cette méthode est que le degré de consensus s'accroît naturellement à chaque tour, ainsi que les connaissances du panel (Linstone et Turoff, 2002).

Par ailleurs, et outre le fait qu'elle rend possible une participation anonyme, la possibilité d'avoir recours à des techniques *DELPHI* à distance offre les avantages d'une mise en commun et d'un échange d'opinions, de manière à ce que les personnes interrogées puissent découvrir les opinions des autres, mais sans être influencées par « celui qui parle le plus fort » ou les participants qui ont plus de prestige, limites que l'on retrouve dans les face à face conventionnels (Slocum *et al.*, 2006).

Le panel d'experts. Enfin, en général, le panel d'experts a pour objectif principal de synthétiser différentes contributions (témoignages, rapports de recherche, résultats de méthodes

de prévision) et de produire un rapport qui fournit une vision ou des recommandations concernant les possibilités et besoins futurs pour les thèmes abordés. Des outils spécifiques peuvent être utilisés pour sélectionner et dynamiser le panel, affecter des tâches et favoriser le partage et l'enrichissement des connaissances. Il convient particulièrement bien aux problématiques qui requièrent des connaissances très techniques ou complexes et qui nécessitent la synthèse d'experts de diverses disciplines. En revanche, cette méthode ne permet pas de faire participer le grand public.

De façon pratique, la préparation d'un panel d'experts comprend la spécification de la mission, le choix de la composition du panel et le recrutement des membres, d'un président et du personnel de soutien. Une fois formé, le panel d'experts a pour mission d'examiner et d'étudier les thèmes choisis et de présenter ses conclusions et recommandations dans des rapports écrits. Si l'étude présente un intérêt particulier par rapport à l'actualité, toutes les dispositions peuvent être prises pour planifier une séance (publique) lors de laquelle les problématiques, les découvertes, les conclusions et les recommandations du rapport sont présentées (Slocum *et al.*, 2006).

7.2.3 Application dans CoBAYe

Le processus de concertation imaginé dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe s'inspire des méthodes précédentes, en particulier de la méthode de consensus et de l'atelier de construction des scénarios. Nous prenons également appui sur les réunions qui peuvent avoir lieu fréquemment entre les services techniques de l'Agence de la Mobilité et des acteurs externes - chercheurs ou praticiens - dans les études de faisabilité de projets publics. La méthode proposée dans l'outil CoBAYe est donc réalisable empiriquement, comme en témoigne de surcroît l'atelier de prospective de mobilité dont une reconstitution fait l'objet du Chapitre 8.

Les participants sont volontaires et sont des acteurs concernés par la mise en application de la politique publique. Idéalement, ils doivent représenter la société dans son ensemble, mais cela est bien sûr impossible pour des raisons matérielles évidentes ; empiriquement, nous pensons alors qu'une quinzaine d'acteurs donne un résultat efficace⁵. Une fois les participants choisis, le

5. Le nombre d'acteurs dépend des conséquences de la décision et notamment leur caractère plus ou moins intersectoriel. Le décideur peut bien sûr inviter le nombre de participants qu'il pense être le plus pertinent ; le nombre *quinze* évoqué a été obtenu empiriquement, en particulier pour les raisons suivantes : moins d'éléments

processus d'aide à la décision CoBAYe peut durer une demi-journée, et au maximum une journée entière pour les politiques engendrant un nombre important d'effets. Des demi-journées de travail sont fréquentes et usuelles et donnent de bons résultats.

Les participants sont alors réunis avec le décideur⁶ (et éventuellement des membres de son équipe technique). L'analyste leur présente le scénario de référence tel qu'il a été calibré par le décideur, par des prospectivistes ou par lui-même. La suite de sa présentation sert à expliquer le déroulement de la séance. Elle peut par exemple reprendre ce « manuel d'utilisation » pour que chacun ait en tête la démarche retenue dans l'outil CoBAYe, éventuellement au moyen de supports écrits, vidéos ou de présentation de la typologie des effets par exemple, sans doute nécessaire initialement. La présentation d'un exemple déjà réalisé précédemment (tel que les Chapitres 8, 9 ou 10 par exemple) peut aussi être un procédé pédagogique efficace. Enfin, l'analyste présente les caractéristiques de la politique publique qui est à évaluer. À cette étape, l'analyste avec les participants doivent être en mesure de décrire les *structures topo-économiques* (voir section 6.2.3) des scénarios de référence et de projet afin de pouvoir en évaluer les effets.

Les participants ont alors le loisir de noter (support écrit ou numérique) les éléments qui leur paraissent les plus saillants et qui suivent la typologie des effets directs, indirects et induits⁷. Une étape de rendu collective est alors organisée où chacun - décideur compris - a la parole pour exposer ce qu'il anticipe. La construction de l'évolution des *structures topo-économiques* du

peuvent être recueillis s'il y a moins de participants, et lorsqu'il y en a trop, il est nécessaire que la parole soit distribuée de façon rigoureuse pour recueillir des informations qui aident à la décision. Trop de participants peut aussi être frustrant pour les acteurs et le décideur lui-même, car chacun n'a pas l'impression de pouvoir s'exprimer librement.

6. Le lieu de réunion de tous les participants n'a pas vraiment d'importance : il peut s'agir des locaux du décideur, d'un des participants ou d'un endroit « neutre », pourvu qu'il soit muni d'outils de présentation *ad hoc*, tels que un système de projection et une interface interactive d'écriture, à support papier, plastique (tableau) ou numérique, en fonction des besoins et des moyens à disposition du décideur.

7. Un support numérique et portable - telle une application pour *smartphones* - peut également être envisagé, avec cette fois l'objectif de ne pas restreindre les participants à uniquement une quinzaine d'individus dont les opinions peuvent être entendues et discutées, mais plutôt à ouvrir la participation à la décision à tous les volontaires qui souhaitent exprimer les *effets* qu'ils envisagent par interface numérique, par exemple à travers un exercice de démocratie participative. Il est par exemple possible d'imaginer un ensemble d'options de décision publique mis en ligne, accompagné d'une proposition des pouvoirs publics locaux (une collectivité territoriale par exemple) à destination de chaque concitoyen pour participer par le biais de son *smartphone* à l'expression de ses idées et des effets qu'il envisage, en tenant compte de la lecture et de la temporalité des effets anticipés par les autres citoyens. Ainsi, à la manière du budget participatif actuellement en cours (janvier-mars 2015) à la Mairie de Paris ou des discussions sur des forums ou des réseaux sociaux numériques, chaque citoyen est encouragé à proposer ses idées pour garantir dans la mesure du possible les points de vue de tous les individus pratiquant le territoire.

territoire se fait ainsi en même temps pendant cette étape de déclaration des comportements anticipés pour chaque acteur. Enfin, lorsque les effets identifiés deviennent trop importants ou de moins en moins prévisibles, chacun est à nouveau invité à travailler pour chercher l'horizon temporel d'évaluation adéquat. Une étape de concertation à nouveau entre tous les participants et le décideur permet d'identifier l'horizon temporel d'évaluation t^* relatif à chaque effet.

À l'issue de ce processus, en fonction du temps restant et de la disponibilité ou du souhait des participants, l'analyste peut commencer à évaluer les effets identifiés, au regard des horizons temporels d'évaluation, avec ou sans ces participants. Empiriquement, les ateliers de travail sont très denses et il est plus aisé de faire l'analyse après avoir réorganisé toutes les notes et les retours de chacun. L'analyste peut donc rendre son rapport d'évaluation au décideur et/ou aux autres acteurs, et une deuxième étape de concertation peut être organisée pour traiter d'effets qui n'auraient pas été perçus, par exemple.

7.3 Définir le scénario de référence

Le *scénario de référence*⁸ est probablement l'élément le plus important de tout processus d'évaluation, mais également celui qui fait rarement l'objet de présentations dans les manuels de techniques d'évaluation. Il s'agit du scénario parfois aussi appelé « au fil de l'eau », c'est-à-dire qu'il répond à la question « Que se passerait-il sans le projet à l'étude ? » et présente ainsi l'évolution des caractéristiques du territoire si le projet n'est pas mis en place. Il va ainsi de pair avec le *scénario de projet*⁹ qui est celui qui est à l'étude par les services techniques d'un décideur public par exemple. Ainsi, les effets d'une politique publique se perçoivent par la mesure des évolutions du territoire quand le projet est opérationnel, à laquelle est « soustraite » la mesure des évolutions du territoire lorsque aucun projet n'est mis en œuvre.

Néanmoins, toutes les évaluations n'utilisent pas de *scénario de référence*. Dans ces cas-là, deux possibilités d'évaluation s'offrent au décideur :

1. Il peut chercher les conséquences de la mise en application de la politique publique de la façon qui lui paraît la plus adéquate en fonction de ses contraintes et de sa rationalité ;

8. « *Reference case* » en anglais.

9. « *Project case* » en anglais.

mais il se heurte alors à l'impossibilité de comparer ces caractéristiques ainsi identifiées. Éventuellement, s'il a deux options *A* et *B* de politique publique à choisir pour atteindre le même objectif, chercher les conséquences de *A* et de *B* permettra uniquement de comparer ces deux options et de savoir si *A* est plus efficace¹⁰ que *B* par exemple.

2. Il peut chercher les conséquences de la mise en application d'une option de politique publique en les comparant avec le territoire tel qu'il le perçoit aujourd'hui. Le décideur a alors un barème à partir duquel il peut percevoir les effets de sa politique, mais ce barème est « myope » car il ne considère pas l'évolution du territoire perçu actuellement sans mise en place de la politique publique.

L'utilisation du scénario de référence permet ainsi d'évaluer une option de choix public avec une barème qui est « le plus proche possible » de l'évolution du territoire concomitante à la durée d'évaluation.

La construction du scénario de référence n'est en revanche pas aisée et c'est aussi pour cette raison qu'il nous paraît être un des éléments les plus importants du processus d'évaluation. En effet, toutes les conséquences, anticipations et actions éventuelles sont mesurées à partir d'un scénario qui, lui-même, est soumis à une incertitude dans sa construction. En effet, il est impossible de connaître l'avenir ; la discussion sur l'incertitude radicale (section 1.4.1) n'en étant qu'un exemple. Ainsi, la construction d'un scénario nécessite des méthodes de prospective pour imaginer ce qui se passerait plus tard. La littérature est bien fournie à ce sujet et ne sera pas développée ici (Godet, 2001; Hill et Jones, 2007; Stacey, 2007).

7.4 Construire un scénario de projet

Dans cette section, nous décrivons d'abord comment CoBAYe doit être utilisé à travers une analyse statique (section 7.4.1), puis un processus dynamique pour expliquer l'importance des effets identifiés sur la structure topo-économique du territoire (section 7.4.2). Ensuite, deux parties de l'analyse dynamique sont développées : d'une part la définition et l'identification des effets de la politique publique (section 7.4.3) et d'autre part la façon dont on propose de prendre

10. Le décideur n'est bien sûr pas obligé de comparer *A* à *B* au regard de leur efficacité, mais peut aussi avoir d'autres critères, comme l'équité, la protection de l'environnement ou encore le respect des décisions des communes limitrophes. Le critère d'évaluation présenté n'est qu'un exemple.

en compte l'incertitude caractérisant chaque effet ainsi identifié (section 7.4.4). Ensemble, ces quatre étapes donnent alors une méthode pratique et générique de construction d'un scénario de projet, et d'utilisation de l'outil CoBAYe.

7.4.1 Analyse statique : fonctionnement à STE fixée

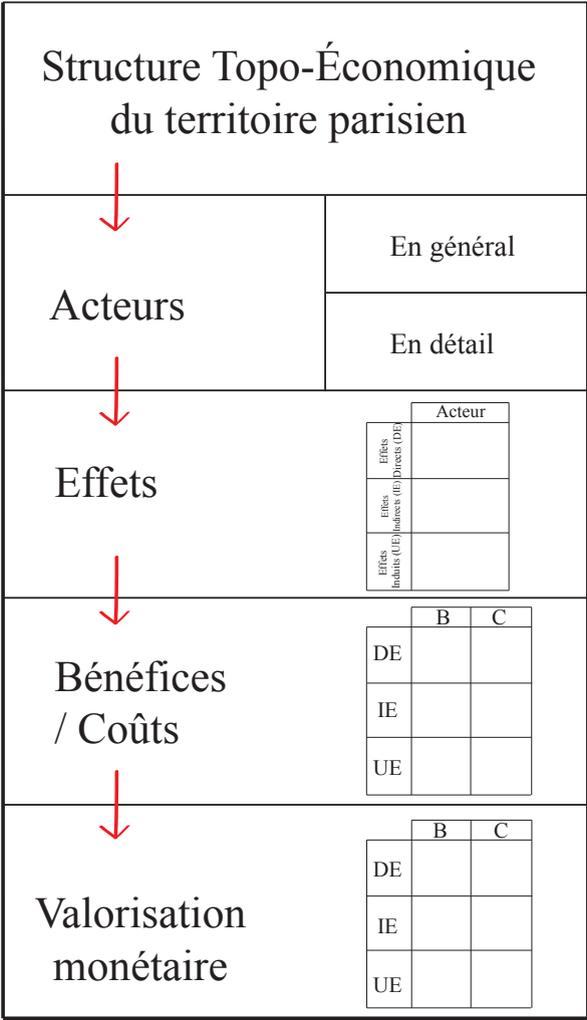


FIGURE 7.1 – Méthode d’analyse statique de l’outil CoBAYe

A structure topo-économique constante, l’outil d’aide à la décision CoBAYe propose d’évaluer une politique publique à travers les étapes suivantes (Figure 7.1). Quatre étapes également ont

pour objectif de recueillir des informations et d'identifier les acteurs et les effets de la politique publique, ce qui, en soi, et toujours sous l'hypothèse de rationalité procédurale, fournit plus d'informations au décideur et l'aide donc dans sa prise de décision. Une cinquième et dernière étape (voir section 7.5.3), optionnelle dans l'outil CoBAYe, est toutefois la partie de l'outil qui est sans doute la plus proche des recommandations que peut attendre un décideur sur des critères quantitatifs, comme dans le cas de l'analyse coûts-bénéfices. Les étapes de l'analyse statique sont donc les suivantes :

1. La première étape consiste à définir à la fois le périmètre d'étude géographique (par exemple : les frontières administratives de la Ville de Paris) et la « structure topo-économique (STE) » de ce territoire ainsi défini, car ils sont essentiels pour l'évaluation d'une politique publique par CoBAYe. Comme nous l'avons déjà défini dans la section 6.2.3, nous entendons les propriétés du territoire comme :

- (i) **ses caractéristiques topographiques et climatiques** (topographie, pollution de l'air, sonore ou des sols...),
- (ii) **ses caractéristiques institutionnelles** (législation en vigueur, couches institutionnelles internes et celles dont le territoire dépend, gouvernance...),
- (iii) **la nature et l'emplacement de ses ressources infrastructurelles** comme les infrastructures de transport (existence et emplacement de lignes de trains, de métro, de tramways, de bus, d'autoroutes et de routes, d'aires de stationnement et d'aires de livraison, de pistes cyclables, de rues piétonnes,...) d'énergie (existence et emplacement des lignes haute tension aériennes et souterraines, permettant la desserte des points de consommation du territoire, ménages, bureaux, entreprises, voirie...), ou encore d'eau (emplacement et existence des tuyaux et conduits d'eau destinée à la consommation, à l'agriculture ou les eaux usées...),
- (iv) **les éléments caractérisant la mobilité des agents économiques du territoire**, c'est-à-dire à la fois la nature et emplacement des plaques tournantes de transport (gares de train et de bus, stations de train et de métro les plus utilisées, stations *Autolib'*, emplacements *Vélib'*), mais aussi les éléments relatifs aux préférences des agents économiques qui pratiquent le territoire (taux de possession d'un véhicule, d'un vélo, motifs de déplacement à l'intérieur du territoire ou dans sa périphérie, préférences

de trajets en fonction des motifs et préférence à utiliser un mode de transport plutôt qu'un autre pour réaliser ce déplacement (parmi la voiture individuelle, l'autopartage, le covoiturage (professionnel ou privé), les transports collectifs, le vélo mais aussi la marche...),

(v) **la nature et l'emplacement des ressources caractérisant la vie quotidienne de ses agents**, comme par exemple les bassins d'emplois et leur nature (bureaux, commerces, industries, attractions touristiques, emplacements culturels, écoles,...) les aires de logement et leur nature (maisons, appartements, studios...), les aires de loisirs et leur nature (centres commerciaux, parcs et jardins, aires de jeux, rives fluviales,...), les aires de consommation finale de biens et services primaires et secondaires (commerces, établissements de restauration,...),

(vi) **ses « ressources humaines »**, c'est-à-dire les caractéristiques de la population qui pratique le territoire, celle qui y habite, mais aussi celle qui y travaille, qui y passe ses loisirs (culturels ou de consommation), et celle qui n'est que ponctuelle (touristes, conférenciers et participants à une exposition). Parmi ces caractéristiques, on s'intéresserait par exemple à la répartition de l'âge, des genres, des catégories socio-professionnelles de la population, mais aussi au capital cognitif ou à la mentalité de la population (sa préférence pour utiliser des modes des déplacement non-polluants par exemple).

2. Comme ces conditions sont spécifiques au territoire sur lequel est mise en œuvre la politique publique, elles permettent à l'évaluateur de déterminer quels acteurs économiques seraient en mesure de réagir à la politique (par exemple, la Ville de Paris, le gouvernement national, ou des entreprises privées comme le Groupe Bolloré, par exemple, dans le cas de la politique de mise en place d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge pour véhicules électriques dans Paris).

3. Chaque acteur ainsi identifié peut réagir à la politique publique par un comportement ou une anticipation, qui peut être une autre politique publique ou une stratégie privée. Les étapes 2 et 3 doivent par conséquent être réalisées de façon simultanée. Chacun de ces couples « acteur économique - effet » est identifié grâce à la typologie d'effets directs (DE), indirects (IE) ou induits (UE) de l'outil CoBAYe, tel que défini aux sections 4.6.2 et 7.4.3.

4. Pour chaque effet sont associés des bénéfices (ou des coûts), ou plus rigoureusement des avantages (ou des inconvénients), dont bénéficient (ou pâtissent respectivement) les acteurs identifiés ci-dessus. En effet, dans la CBA et, plus généralement, « d'un point de vue utilitariste, la valeur de chaque bénéfice compte de la même façon pour chaque individu. Mais dans la prise de décision, il peut être important de savoir qui bénéficie dans quelle mesure, et qui perd avec quelle ampleur » (Van Wee, 2012). Cette étape fait encore partie de la description des conséquences de la politique publique et doit être écrite de façon qualitative.
5. Enfin, lorsqu'elle est demandée, l'étape 5 est la partie normative de CoBAYe et essaie le cas échéant de trouver une valeur monétaire pour tous les avantages et les coûts qui viennent d'être identifiés (section 7.5.3).

7.4.2 Analyse dynamique : le changement de STE

Une fois que les effets à l'horizon temporel P_i (P_0 initialement) ont été identifiés, nous pensons qu'ils ont une incidence sur la structure économique et territoriale du territoire sur lequel est appliquée la politique publique (par exemple : la Ville de Paris, comme représenté sur la Figure 7.2) : la structure topo-économique parisienne est donc modifiée (dans ce cas par l'apparition d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques sur son territoire par exemple). Par la suite, une fois la structure topo-économique modifiée, tous les acteurs économiques se trouvent alors dans une autre *période*, appelée P_{i+1} , et la nouvelle structure topo-économique fournit les conditions pour engendrer de nouvelles politiques publiques et stratégies privées. Il est important de garder à l'esprit que cette notion de *période* (qui caractérise les conditions de la structure topo-économique) est différente de la notion habituelle de temps (qui n'est pas directement liée à un changement dans les facteurs de production ou de consommation des agents d'un territoire) : la *période* est un outil pour permettre une identification plus aisée des effets engendrés par la politique publique initiale, tandis que le *temps* est l'élément qui est important pour la durée de l'évaluation (et qui fait appel à la notion d'horizon temporel, comme entendu dans le Chapitre 5) aussi longtemps que la frontière avec l'incertitude radicale (Knight, 1921) n'est pas franchie.

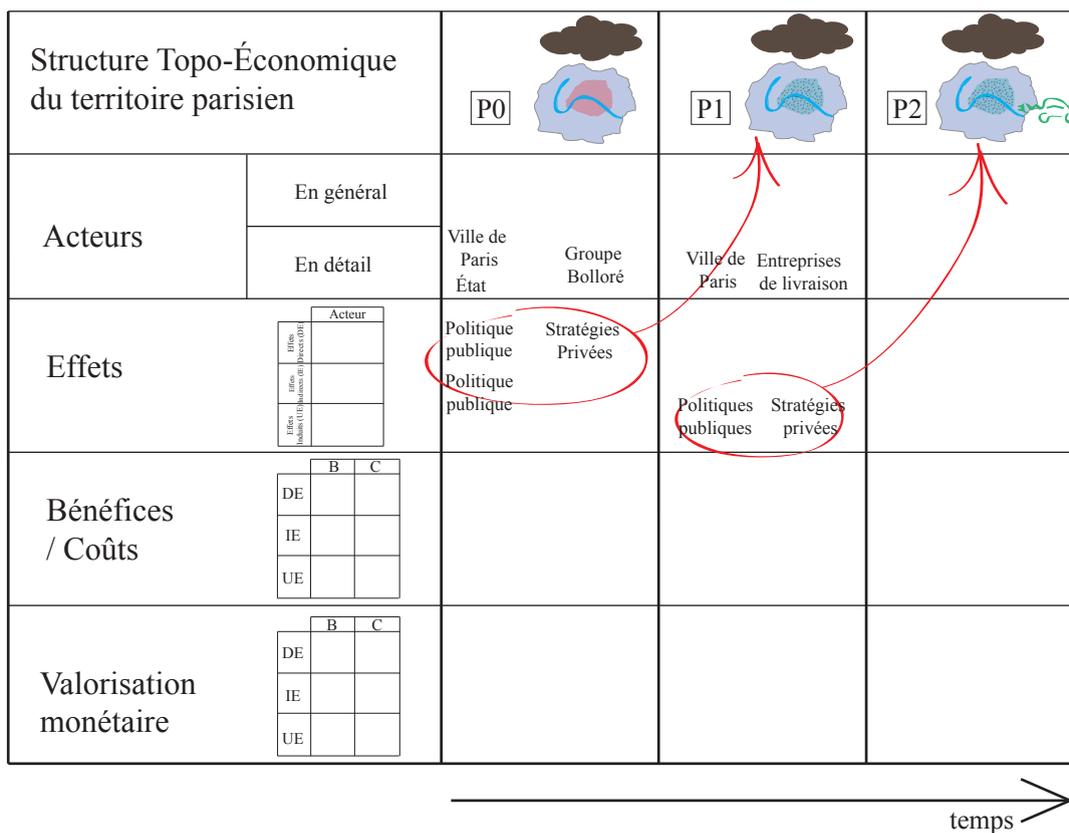


FIGURE 7.2 – Méthode d'analyse dynamique de l'outil CoBAYe

7.4.3 Identification des *effets* de la décision

Effets directs, indirects et induits

Les effets constatés à la *période* P_0 sont donc essentiels pour permettre d'identifier ceux qui se produisent à la *période* P_1 , en raison de l'émergence d'une trajectoire qui relie les effets entre eux. Ce paragraphe propose une définition¹¹ des effets à envisager dans CoBAYe (représenté également en Figure 7.3) :

- Les **effets directs (DE)** sont liés aux objectifs de la politique qui ont été décidés ou mis en œuvre (y compris la façon avec laquelle ils ont été mis en œuvre), sans aucune autre intervention publique, incitation ni soutien public ;
- Les **effets indirects (IE)** sont les conséquences de ces effets directs, qui sont dues aux interdépendances existantes entre les secteurs public et privé avant la mise en œuvre de la politique publique. Les IE se produisent donc au sein d'une structure topo-économique constante et à un horizon temporel plus ou moins éloigné de celui des effets directs. Le concept des effets indirects est similaire à celui qui est appelé « *wider economic impacts* » (Atherley *et al.*, 1976; Vickerman et Uljed, 2009), et utilisé en médecine et en planification d'infrastructures respectivement. Dans ce second cas, en effet, les « *wider economic impacts* » sont les effets de la mise en place de l'infrastructure et qui sont dus à une redistribution de l'effet de transport d'origine à travers d'autres marchés existants, c'est à dire dans un contexte de relations d'interdépendances qui existent déjà entre les marchés publics et privés (voir le Chapitre 3).
- Enfin, les **effets induits (UE)** sont aussi des conséquences des effets directs mais, contrairement aux effets indirects, ils :
 1. contribuent à une modification de la structure topo-économique du territoire concerné, ce qui signifie que l'allocation des ressources est modifiée (effets de type I) ;
 2. ou sont le résultat d'une modification de la structure topo-économique du territoire concerné (effets de type II).

11. Les définitions qui sont présentées ici sont évidemment les mêmes que celles présentées à la section 4.6 mais, si le chapitre est pris seul comme un manuel d'utilisation de l'outil CoBAYe, il nous a semblé important de les rappeler.

Ces effets induits se produisent dans un laps de temps plus ou moins éloigné des effets directs et indirects.

Il est possible d'identifier quatre types d'effets induits, à envisager dans la recherche des conséquences d'une politique publique, en utilisant l'outil CoBAYe :

- a. des politiques publiques qui pourraient être nécessaires dans l'optique de soutenir, d'encourager ou d'aider au développement d'activités économiques (par exemple, parce que le réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques peut être sujet au vandalisme, certaines régions peuvent avoir besoin d'une politique publique qui mettrait l'accent sur la sécurité civile durant la nuit) ;
- b. des mesures, actions et activités qui existaient avant la nouvelle configuration due à la politique initiale mise en œuvre, et qui ne sont maintenant plus nécessaires (par exemple dans le cas extrême d'une ville sans voitures (ou une politique de stationnement très souple) des parcmètres ne sont plus requis) ;
- c. des activités qui pourraient être créées ou développées - dans le secteur public ou privé - grâce à la mise en œuvre de la politique d'amélioration de la qualité de l'air initiale (par exemple, les sociétés de location de vélo peuvent s'épanouir, après l'émergence de zones urbaines réservées aux piétons et aux cyclistes).
- d. à l'inverse, certaines activités privées peuvent être contraintes à une fin prématurée, si elles ne sont plus considérées comme « rentables » dans la nouvelle configuration (par exemple, le développement d'entreprises de location de véhicules légers peut être entravé si une des conséquences de la politique d'amélioration de la qualité de l'air induit une augmentation de l'offre et de la demande des véhicules du système de voitures électriques en libre-service *Autolib'* à Paris, concurrentes dans une certaine mesure avec les entreprises de location de véhicules).

Les opportunity benefits

À ces quatre types d'effets induits, il est possible enfin d'ajouter des conséquences de la politique publique initiale, et dont la prise en compte dans l'évaluation peut être pertinente. Il s'agit :

- des politiques publiques qui auraient pu être mises en œuvre, et qui ont dû être abandonnées en raison de l’alternative choisie d’allocation des ressources matérielles et humaines (par exemple, en faisant l’hypothèse que ces deux politiques sont considérées par le décideur comme ayant les mêmes objectifs, la mise en place d’une « *Low Emission Zone* » aurait pu être choisie pour réduire la pollution atmosphérique au lieu de la construction d’un réseau infrastructurel de bornes de recharge électrique pour améliorer la qualité de l’air) ;
- des politiques publiques qui ont été évitées par le choix initial effectué, et qui découlent aussi de fait, d’un changement de structure topo-économique (par exemple, ne pas avoir à mettre en œuvre une politique de santé trois ans plus tard, parce que les résultats de la politique d’amélioration de la qualité de l’air rendraient une telle mesure inutile).

Ces deux derniers effets, auxquels on ajoute les effets induits mais également les synergies dues aux interdépendances entre ces effets entre eux et avec leurs acteurs à des échelles spatiales (les effets qui correspondent par exemple aux activités rendues possibles sur d’autres territoires liés à celui de la STE) et temporelles (certaines politiques à l’échelle locale peuvent mettre en valeur des activités publiques ou privées qui avaient déjà lieu par le passé par exemple) constituent ce que nous appelons les « *Opportunity Benefits* (OB) » (Figures 7.3 et 7.4) de la mise en place de la politique publique d’amélioration de la qualité de l’air initiale ¹².

L’étape d’identification des effets directs, indirects et induits est nécessaire et primordiale avant leur valorisation monétaire, en appliquant par exemple les méthodes d’évaluation présentées précédemment. C’est pourquoi le schéma de la Figure 7.4 représente la méthodologie que nous proposons, pour l’outil CoBAYe, en tenant compte de l’incertitude et de l’interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées, à des échelles temporelles et territoriales différentes. En effet, la politique publique à évaluer s’inscrit *de facto* dans un cadre spatio-temporel : elle a des interdépendances avec d’autres politiques publiques, déjà mises en place ou dont elle sera la cause, et ce à des échelons territoriaux différents. La méthode CoBAYe, qui a pour but de compléter le « *Net Social Benefit* » grâce à une approche systémique, propose donc, d’une part, d’identifier

12. Bien sûr, les « *Opportunity Benefits* » sont ici définis par rapport à une politique publique bien précise, mais leur définition est très générale et il est aisément possible de les définir de la même façon par rapport à des politiques non pas d’amélioration de la qualité de l’air, mais de logement, de meilleure performance énergétique, de réduction de gaz à effet de serre, d’infrastructures de transport, et bien d’autres politiques publiques dont les conséquences sur l’économie sont systémiques.

Effets de la mise en oeuvre d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris

<p>« Opportunity Benefits », entendus comme : (1) les effets induits, (2) leur interdépendance à des échelles spatiales et temporelles différentes, dans une approche systémique, et (3) les politiques publiques abandonnées et évitées</p>	<p>Interdépendances pré-existantes</p> <p>Structure topo-économique inchangée</p>	
<p>Création d'interdépendances par les productions ou consommations intervenant ou complémentaires de la politique initiale</p> <p>Structure topo-économique changée</p>	<p>Induits (création/suppression)</p> <p>Les effets induits sont aussi une conséquence des effets directs. Contrairement aux effets directs, ils peuvent : (1) soit découler d'une modification de la structure topo-économique du territoire concerné; (2) soit contribuer à une modification de la structure topo-économique du territoire concerné. Ils apparaissent à un horizon temporel plus ou moins éloigné des effets directs et indirects.</p> <p>a. Politiques d'accompagnement, d'encadrement ou de développement décidées a posteriori</p> <p>b. Politiques, actions et activités qui existaient et qui n'ont plus lieu d'être</p> <p>c. Activités privées rendues possibles par la nouvelle configuration</p> <p>d. Activités privées supprimées par la nouvelle configuration, car non "rentables"</p> <p>Politiques publiques qui ont été abandonnées Elles correspondent à des bénéfices non obtenus</p> <p>Politiques publiques qui ont été évitées grâce à la décision initiale prise</p>	<p>Indirects</p> <p>Les effets indirects sont la conséquence des effets directs, à structure topo-économique constante. Ils peuvent être plus ou moins décalés dans le temps par rapport aux effets directs.</p> 
	<p>ex. Le réseau de bornes de recharge pouvant être en proie au vandalisme, une sécurité publique nocturne renforcée peut être nécessaire</p> <p>ex. Dans le cas extrême d'une ville sans voiture (ou une politique de stationnement très flexible), les paramètres ne sont plus nécessaires</p> <p>ex. Après l'émergence d'autres réserves aux piétons et aux cyclistes, des entreprises de location de vélos peuvent voir le jour et/ou se développer</p> <p>ex. Les activités de location de véhicules légers peuvent être affectées si la politique d'amélioration de la qualité de l'air se traduit par une utilisation plus fréquente du système de voitures en libre-service Autolib à Paris</p>	<p>ex. Création de bornes de recharge sur le territoire parisien</p> <p>ex. Augmentation du nombre de subventions à l'achat de véhicules électriques accordées</p>

FIGURE 7.3 – Typologie des effets de l'outil CoBAYe et intégration parmi les « Opportunity Benefits »

les effets directs, indirects et induits de chacune de ces politiques interdépendantes, faisant ainsi apparaître des coûts, des bénéfices, des coûts d'opportunité, mais aussi des « *opportunity benefits* » et, d'autre part, d'identifier l'horizon temporel au-delà duquel il devient irréaliste de poursuivre l'évaluation.

7.4.4 La prise en compte de l'incertitude

La rationalité limitée d'un agent économique (accès limité à l'information, capacité cognitive de satisfaction, vision floue des préférences) est la raison pour laquelle un effet identifié par un acteur ou par le collègue d'acteurs ne sera pas certain de se réaliser : même si cet effet a une probabilité objective de réalisation, il est aussi sujet à une probabilité subjective de réalisation, dépendante de la rationalité limitée des acteurs concernés. Cette probabilité subjective de réalisation détermine le nombre et les caractéristiques des scénarios d'évaluation.

La rationalité limitée des agents économiques est également la raison pour laquelle certains effets - qui ont même une probabilité objective de se réaliser assez élevée - ne seront pas identifiés, les agents économiques ayant un accès limité à l'information.

Une fois les effets identifiés toutefois, la question est maintenant de savoir : jusqu'à quand chaque effet doit-il être évalué ? S'agit-il d'une évaluation uniforme pour tous les effets de la politique publique ? Ou bien chaque effet bénéficie-t-il d'un horizon temporel pertinent pour son évaluation et au bout duquel évaluer ne fait plus sens ? L'outil d'aide à la décision CoBAYe recommande plutôt d'évaluer chaque effet en fonction d'un horizon temporel d'évaluation qui lui est adéquat. Comment le trouver ?

La prise en compte de l'incertitude dans le processus CoBAYe peut être explicitée par les étapes suivantes :

1. Au cours de chaque période, définie lors de la construction de la STE de projet, les différents participants peuvent identifier les effets de la décision en jeu, grâce notamment au tableau présenté en section 7.4.3.
2. Pour chaque effet identifié, chaque participant se prononce sur l'horizon temporel d'évaluation t^* qui lui paraît le plus pertinent, c'est-à-dire l'horizon temporel au-delà duquel

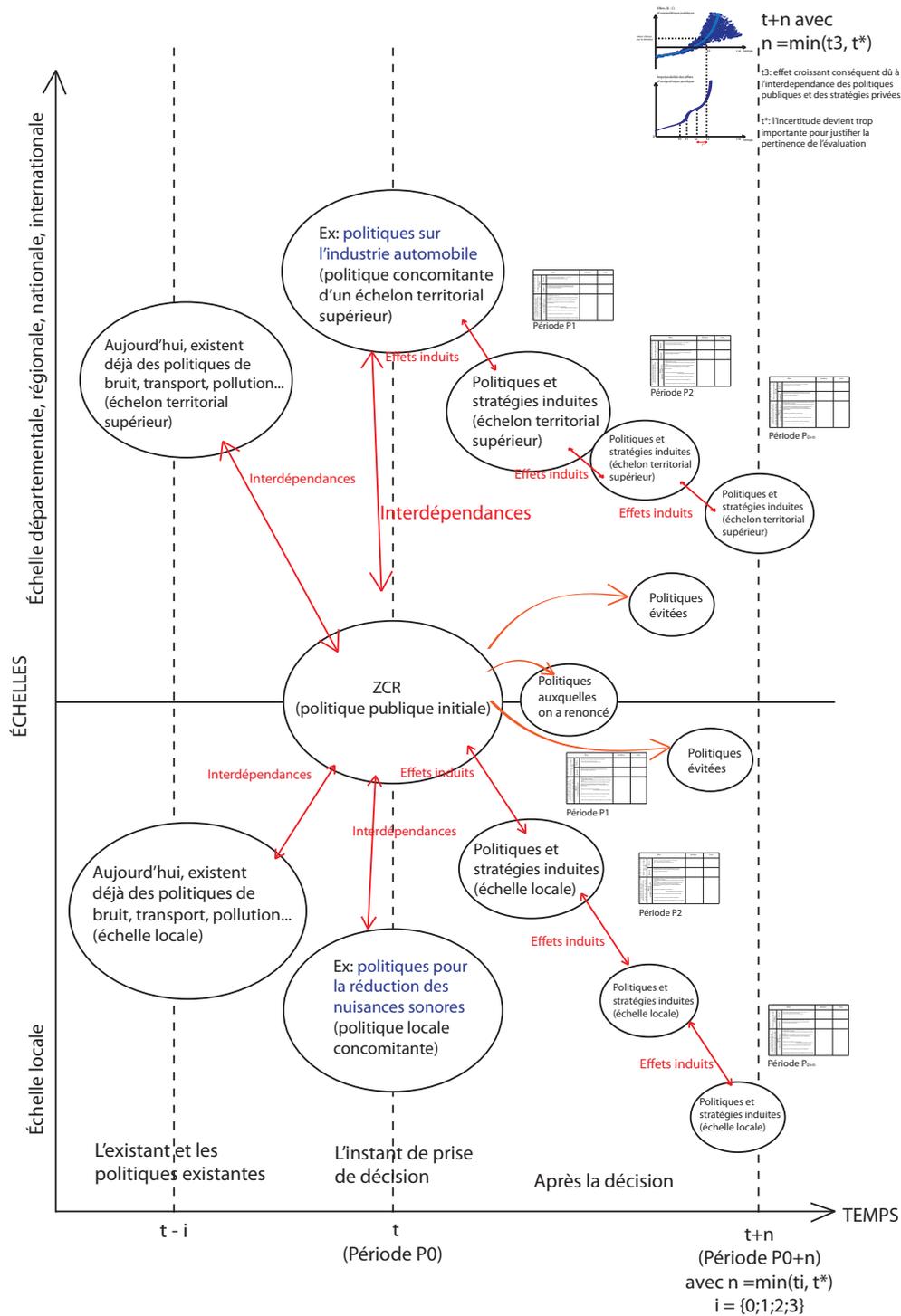


FIGURE 7.4 – Méthode CoBAYe : outil d'aide à la décision appliqué à la politique publique de Zone à Circulation Restreinte (ZCR).

ce participant considère que l'imprévisibilité caractérisant cet effet devient trop forte. La section 5.4 (et en particulier le tableau 5.2) rappelle les raisons pour lesquelles chaque individu peut percevoir une incertitude quant à l'occurrence d'une part mais aussi l'ampleur de cet effet. Il peut s'agir d'une :

- *incertitude radicale*, caractérisée par le fait que l'ensemble des états de la nature n'est pas connu ou n'est plus probabilisable (Knight, 1921; Keynes, 1937),
- *incertitude psychologique « propre »*, caractérisée par la psychologie inhérente à l'individu, comme par exemple une aversion au risque ou à l'ambiguïté trop importante (Arrow, 1965; Kahneman et Tversky, 1979),
- *incertitude environnementale*, caractérisée par exemple par le fait que l'individu réagit en fonction de sa rationalité procédurale et de ses aspirations (Simon, 1955), ce qui peut engendrer une forte interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées,
- *incertitude comportementale*, caractérisée par exemple par une absence de donnée du passé, de convention ou de repère (Williamson, 1985).

Ainsi, le processus d'évaluation proposé par CoBAYe est *endogène* dans le sens où c'est au cours du processus même que les acteurs, de façon concertée, se prononcent sur la durée qui leur semble pertinente pour poursuivre l'évaluation, celle-ci étant déterminée en fonction de leur rationalité. En particulier, cette procédure diffère du choix exogène et arbitraire d'une durée d'évaluation homogène pour tous les effets, comme c'est le cas dans l'analyse coûts-bénéfices par exemple (voir Chapitre 2) : elle tient plutôt compte des temporalités liées aux anticipations, comportements et actions propres aux acteurs concernés eux-mêmes par la politique publique étudiée.

3. La discussion entre les parties prenantes peut aboutir à un consensus sur la durée d'évaluation. Dans le cas contraire, les différents horizons temporels d'évaluation t^* sont notés par l'évaluateur, accompagnés de leur justification éventuelle, puis seront remis au décideur. Plusieurs configurations sont possibles pour réaliser cette concertation, comme il en a été question dans la section 7.2, et le décideur peut choisir les méthodes qui lui paraissent plus appropriées pour obtenir des résultats pertinents. Nous noterons notamment deux « courants » :

- Tous les acteurs réfléchissent en aparté à un scénario d'évaluation, en structurant leurs idées de la façon suivante, avant de les partager au groupe des participants :
 - (i) la détermination de l'horizon temporel t^* au bout duquel l'évaluation de l'effet considéré n'est plus considérée comme pertinente,
 - (ii) la détermination des probabilités d'occurrence et d'ampleur de l'effet considéré,
 - (iii) et, lorsque la technique le permet, le choix à la fois d'un indicateur de mesure et aussi d'une méthode de valorisation monétaire.
 - Le modérateur du processus de concertation attribue la parole à chacun pour faire naître des éléments de consensus à mesure que la discussion se poursuit.
4. La durée d'évaluation est aussi utile pour la valorisation monétaire et notamment l'impact qu'aurait l'application du taux d'actualisation sur cette durée. Dans le cas où le décideur demande à l'évaluateur de lui fournir dans le rendu de son étude les valorisations monétaires de chaque effet, et dans le cas où il n'y a pas de consensus entre les participants quant à une durée d'évaluation adéquate pour chaque effet identifié, alors nous préconisons une analyse de sensibilité en fonction de la durée d'évaluation (section 7.5.3) : à chaque effet sont donc associées une ou plusieurs valeurs monétaires, chaque valeur dépendant d'une part de la technique de valorisation mais aussi de la fourchette de durées d'évaluations obtenue au moyen du processus de concertation. Pour chaque valeur de cette fourchette est fournie une explication quant au choix de la durée d'évaluation, en fonction des justifications apportées par les participants lors du processus de concertation.

Une représentation de la manière dont l'outil CoBAYe tient compte de l'incertitude dans les effets identifiés se trouve à la Figure 7.5. L'exemple pris est l'un des effets identifiés dans le cas de la mise en œuvre d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris : le nombre de véhicules thermiques inutilisés et vendus d'occasion parce que leurs détenteurs utilisent maintenant un véhicule électrique pour circuler dans la capitale. L'effet en soi n'a pas ici de valeur argumentative, mais plutôt illustrative. En particulier, seule la façon dont sont considérées ses caractéristiques est utile dans cette section.

La figure 7.5 fait en particulier apparaître les caractéristiques de l'effet au sujet desquelles chaque participant est invité à se prononcer :

- (i) Le *degré de prévisibilité de l'effet* fait surtout référence à l'incertitude radicale de cet effet. Il donne notamment une indication sur la possibilité pour le participant de prévoir l'occurrence de l'effet et, le cas échéant, de lui attribuer une probabilité correspondante ;
- (ii) Dans la colonne *incertitude*, le participant caractérise ce sur quoi porte l'incertitude sur l'effet étudié, selon lui ;
- (iii) L'*horizon temporel* indique la durée d'évaluation qui paraît la plus adéquate à l'effet étudié, selon le participant ;
- (iv) La colonne *scénarios* désigne, lorsque cela est possible, les hypothèses de mesure ou de prospective pour la construction du scénario modélisant l'effet étudié et tel qu'il est anticipé par le participant. Ce scénario est en particulier utile pour l'étape de valorisation monétaire, dans le cas où elle est requise par le décideur.
- (v) La dernière colonne, intitulée *Explications ou remarques*, permet au participant d'explicitier les raisons qui justifient ses choix formulés dans les colonnes précédentes. Cette colonne est en particulier utile pour l'évaluateur car elle lui permet, à la fin de la demi-journée de concertation, d'associer à chaque horizon temporel imaginé par un participant les hypothèses correspondantes pour ainsi construire l'analyse de sensibilité correspondante.
- (vi) Enfin, l'horizon temporel peut aussi être représenté au-dessus de ce tableau, en fonction de la colonne (iii). Pour tous les effets identifiés, on peut alors obtenir un tableau des durées d'évaluation selon chaque participant, comme le montre l'exemple de la Figure 7.6.

7.5 Comparaison de deux options

Une fois que les quatre étapes ont été réalisées, pour chaque *structure topo-économique* identifiée par les participants au processus de concertation, il s'agit de comparer les STE de référence et de projet et ainsi répondre à la question : par rapport à l'option « ne rien faire », voter la mise en œuvre du projet étudié est-il pertinent ? Pour y répondre, nous proposons trois méthodes, comme présentées ci-dessous :

1. une analyse de la frise temporelle des effets identifiés (section 7.5.1) ;

2. une analyse comparée des graphes orientés représentant l'évolution des STE de référence et de projet (section 7.5.2) ;
3. une valorisation monétaire de tous les effets identifiés et un raisonnement efficace ou équitable, en fonction des objectifs du décideur (section 7.5.3).

7.5.1 Une frise des effets

La frise temporelle de CoBAYe (représentée par exemple aux sections 9.2 et 10.2) a été créée au cours du processus de concertation CoBAYe par les participants eux-mêmes : en effet, chaque *période* de la structure topo-économique du territoire a permis de mettre en situation les participants et chacun a alors été invité à noter ses comportements ou actions anticipées et à les transmettre à l'analyste pour qu'ils soient visibles sur la frise¹³. Ainsi, en ayant devant les yeux les anticipations de tous les participants qui se sont prononcés, chacun peut alors réagir à ces comportements par la même méthode : la frise temporelle des effets se construit donc dynamiquement grâce à la concertation elle-même.

A l'issue de ce processus, la frise temporelle des effets ainsi obtenue contient en elle-même des informations qualitatives (voire même quantitatives, en fonction des dires des participants) sur les comportements potentiels des acteurs concernés par la décision étudiée. Bien sûr, ces résultats sont sujets à la confiance que le décideur et les autres participants ont accordée aux effets mentionnés et, comme dans le cas de la théorie des jeux (section 4.5), les réactions à ces effets sont sujets aux mêmes limites. Cependant, ce supplément d'informations que le décideur a maintenant à disposition lui permet d'anticiper les réactions des autres acteurs de son territoire et, si besoin, de modifier certaines des modalités de la politique publique initialement proposées pour tenir compte de ces réactions. Les Chapitres 9 et 10 décriront ainsi en détail les interprétations qui peuvent surgir de l'établissement de telles frises temporelles.

13. Cette transmission peut se faire par support écrit, comme *via* des « *post-it* » lors de l'atelier de prospective de mobilité (voir Chapitre 8) ou par support virtuel, au moyen d'une application numérique portable ou par des tablettes numériques reliées en *wifi* par exemple. Les techniques de transmission diffèrent bien sûr en fonction de la technologie disponible sur le moment et des moyens que se donne le décideur par exemple.

7.5.2 L'analyse graphique

La frise temporelle des effets n'est pas la seule source d'informations supplémentaire qui peut être obtenue par la mise en œuvre du processus CoBAYe. En effet, le processus de concertation permet également à l'analyste de construire les *structures topo-économiques* pour chaque période, ce qui lui permet notamment de suivre leur évolution. Dans la représentation graphique de la STE de projet, explicitée en section 6.4, chaque acteur concerné par la décision est représenté par un nœud et chacune des interdépendances entre ces nœuds font l'objet d'arcs orientés, indiquant le sens de la dépendance¹⁴. De plus, si des données quantitatives peuvent être obtenues, l'intensité des arcs peut alors représenter la valeur de l'interaction, par exemple en termes de transferts monétaires.

Au cours du processus de concertation et en fonction des comportements anticipés par chaque acteur, l'analyste peut alors représenter, pour chaque période, les nœuds et les arcs qui apparaissent et qui disparaissent. La construction de la représentation graphique de l'évolution des STE peut donc se faire en parallèle du processus de concertation de l'outil CoBAYe (chapitres 9 et 10). Plusieurs interprétations peuvent alors être envisagées, comme le présente aussi la section 6.3 :

- Dans une approche statique, l'analyste peut examiner les relations entre acteurs dans la STE de projet et la comparer avec celles de la STE de référence. Il peut alors en déduire des implications ou des actions imprévues dans le schéma initial de la décision et en faire part au décideur (qui choisira d'en tenir compte ou pas). En particulier, des relations d'interdépendance entre deux acteurs et, surtout, entre plus de deux acteurs peuvent être identifiées avec la présence de boucles au sein des graphes. La variation de comportement d'un des acteurs influence alors un écosystème d'interactions entre acteurs, c'est pourquoi nous pensons que cette information peut être importante à porter à la connaissance du décideur, en particulier s'il souhaite bénéficier d'une étude fine sur l'évolution des acteurs concernés et savoir qui sont les bénéficiaires ou les perdants à l'issue de la mise en œuvre de la décision. Un exemple d'une telle analyse est présenté en section 10.4.1, en tant que

14. Un arc à deux sens représentant alors une interdépendance.

discussion des résultats de l'application illustrative de l'outil CoBAYe sur une mise en opération potentielle d'une Zone à Circulation Restreinte (ZCR) à Paris.

- Par ailleurs, dans une approche dynamique, l'analyste peut également s'intéresser à l'évolution des interdépendances d'un acteur précis, soit par comparaison avec le scénario de référence, soit par comparaison périodique au sein du scénario de projet lui-même. Ainsi, en ciblant un des acteurs, l'analyste peut alors se rendre compte de l'évolution de son rôle à mesure que la *structure topo-économique* du territoire parisien évolue. A-t-il un rôle moteur dans la création de ces interdépendances ? ou bien est-il dépendant des actions d'un autre acteur ? La Ville de Paris, par exemple, une fois après avoir mis en œuvre une ZCR sur son territoire, a-t-elle encore un rôle à jouer aux périodes successives pour accompagner le développement de nouvelles activités, ou bien laisse-t-elle la place à l'interaction privée entre les agents économiques parisiens ? En particulier, nous pensons que ce type d'analyse se prête bien aux discussions sur l'équité qui peuvent être un des critères de choix du décideur. A nouveau, un exemple d'analyse dynamique est traité à titre illustratif en section 10.4.2.
- Enfin, dans le cas où les relations entre acteurs peuvent être rendues quantitatives (par exemple par l'usage de transferts monétaires ou de valorisations monétaires d'effets non-marchands), l'analyse topologique des graphes orientés représentant l'évolution des STE peut être rendue plus riche par l'utilisation de théorèmes de la théorie des graphes. Une hypothèse non-triviale est cependant essentielle : chacune des relations doit être linéaire pour pouvoir utiliser les théorèmes de Lantner et Lebert (2013) par exemple.

7.5.3 La valorisation monétaire

L'étape de valorisation monétaire de l'outil CoBAYe est en partie similaire à son pendant de l'analyse coûts-bénéfices. Tout d'abord, elle consiste à trouver des valeurs monétaires pour tous les effets. Les prix du marché peuvent évidemment être utilisés pour des effets dont les biens et services associés sont marchands, mais les effets non-marchands nécessitent parfois des procédures d'identification plus complexes, qui sont encore contestées et contestables aujourd'hui (cette question a par exemple été abordée dans la section 2.5).

La deuxième partie de l'étape de valorisation monétaire est différente de celle de la CBA toutefois. En effet, elle consiste à présenter les résultats de la valorisation monétaire pour chaque acteur, d'abord dans une matrice (Figure 7.7), puis en représentation graphique (Figure 7.8)¹⁵.

Valorisation monétaire : des limites communes à la CBA et à CoBAYe

En économie de l'environnement, mais plus généralement en ce qui concerne la prise en compte des externalités, l'analyse doit souvent évaluer des biens et des services pour lesquels il n'existe pas de marché. Parmi les méthodes existantes utilisées pour attribuer une valeur monétaire aux effets identifiés dans l'analyse coûts-bénéfices, aucune n'est parfaite, et chacun présente des limites (Dorfman et Rothkopf, 1996) : que ce soient les méthodes de surplus du consommateur (Marshall, 1890; Dupuit, 1844), de surplus du producteur (Marshall, 1890), la méthode des coûts de déplacement (Clawson, 1959; Clawson et Knetsch, 1966; Appéré, 2004), la méthode des prix hédoniques (Ridker et Henning, 1967; Smith et Huang, 1995), la méthode d'évaluation contingente (Davis, 1963; Bateman *et al.*, 2002), qui utilise des outils d'évaluation par la révélation de préférences (Mäler, 1974), le consentement à payer et le consentement à recevoir (Willig, 1976; Fisher *et al.*, 1988; Hanemann, 1994; Stavins, 2008), la valeur d'existence (Krutilla, 1967), la valeur de quasi-option (Weisbrod, 1964), ou la valeur de don (Hochman et Rodgers, 1969), ce qui permet d'estimer la valeur d'une année de vie (Dolan, 2000), ou des valeurs de référence pour les blessures, le bruit, ou le temps pour réaliser un voyage (Boardman *et al.*, 2006).

Cependant, ni cette section - ni ce mémoire d'ailleurs - ne traite des limites énoncées ci-dessus, mais utilise plutôt principalement la littérature abondamment disponible sur le sujet (Boîteux, 2001; INFRAS/IWW, 2004; Baumstark, 2007; OCDE, 2007; CE DELFT, 2008; Centre for Economics and Business Research Ltd, 2012) pour trouver les valeurs monétaires appropriées à chacun des effets identifiés. Les principales valeurs ajoutées de l'outil CoBAYe restent l'intégration des trois concepts qui ne sont malheureusement pas inclus dans l'analyse coûts-bénéfices aujourd'hui, par exemple. Ce sont, comme expliqués dans les sections précédentes : la construction des STE

15. La déclinaison des acteurs concernés par la décision sous la forme « acteurs publics, acteurs privés et société civile » n'est qu'un exemple de présentation. En fonction des besoins, il est bien sûr possible de représenter les résultats pour des acteurs spécifiques comme la Ville de Paris, le Groupe *Bolloré* ou le corps des entreprises de livraison par exemple.

de référence et de projet, la prise en compte des interdépendances entre acteurs et celle de l'incertitude dans le processus d'évaluation.

L'analyse de sensibilité

Enfin, dans le cas où l'outil d'aide à la décision CoBAYe a eu recours à des techniques de valorisation monétaire, une analyse de sensibilité est requise pour montrer l'incertitude qui est liée aux résultats, qu'elle soit due aux sources mentionnées en section 7.4.4 ou à la fourchette de probabilités obtenue du fait de la présence de multiples participants. Des scénarios « de borne supérieure » et « de borne inférieure » peuvent être imaginés, de telle sorte qu'ils puissent encadrer les résultats. Enfin, en fonction des techniques de valorisation monétaire utilisées, les résultats peuvent être différents : il convient alors de noter les hypothèses qui ont été prises et de les faire apparaître de façon transparente dans les graphes représentant les résultats de l'évaluation.

7.6 Comparaison de plusieurs options

7.6.1 La décision émanant d'un collège d'acteurs peut être incohérente

Lorsque plus de deux options doivent être comparées et qu'une décision doit être prise par un collège d'acteurs - publics ou privés - une échelle de préférences n'est pas toujours garantie, comme cela a été exposé dans le Chapitre 1 (et en particulier les sections 1.2 et 1.3.3). Plusieurs techniques ont été étudiées par le passé pour pouvoir faire ce choix, s'inspirant initialement toutes de la théorie des votes. La méthode de Condorcet (1785), par exemple, est un système de vote qui consiste à comparer successivement les options « candidates au choix » deux à deux, afin de trouver la meilleure. Si elle existe, l'unique option gagnante est alors celle qui, comparée tour à tour à toutes les autres options, s'avère à chaque fois être l'option candidate préférée. Le dépouillement du scrutin consiste à simuler l'ensemble des duels possibles : pour chaque paire d'options, on détermine le nombre d'électeurs ayant voté pour l'une ou l'autre en vérifiant, sur chaque bulletin de vote, comment l'une était classée par rapport à l'autre. Ainsi, pour chaque duel il y a une option candidate gagnante. Dans la plupart des cas, il y a une unique option qui remporte tous ses duels et c'est celle qui est choisie à l'issue du scrutin. En revanche, rien ne garantit théoriquement la présence d'une option satisfaisant à ce critère. En effet, dans le cas

où aucun candidat ne remporte tous ses duels, des conflits peuvent exister, comme par exemple, le paradoxe de Condorcet.

Comme évoqué dans la section 1.2, le paradoxe de Condorcet montre par exemple qu'un vote du collège au sujet du choix à faire peut ne pas produire un résultat déterminé, même lorsque seulement trois personnes ont à choisir entre trois options. En effet, une illustration peut être obtenue en prenant l'exemple d'une décision publique visant à améliorer la qualité de l'air à Paris, pour laquelle trois décideurs D_1 , D_2 et D_3 ont à choisir entre trois options possibles :

- (A) Ne rien faire, c'est-à-dire le scénario de référence (section 7.3) ;
- (B) Créer une infrastructure de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris et subventionner l'achat de ces véhicules pour des particuliers et des professionnels (Chapitre 9) ;
- (C) Mettre en place une Zone de Circulation Restreinte (ZCR), qui interdit la circulation dans Paris des véhicules les plus polluants (Chapitre 10).

Si un classement de ces options (A), (B) et (C) est équiprobable, il existe alors une chance sur six d'avoir le scénario suivant :

— *Préférences de D_1* :

- (i) Premier choix : ne rien faire (option (A)) ;
- (ii) Deuxième choix : créer une infrastructure de bornes électriques (option (B)) ;
- (iii) Troisième choix : mettre en œuvre une ZCR (option (C)).

— *Préférences de D_2* :

- (i) Premier choix : créer une infrastructure de bornes électriques (option (B)) ;
- (ii) Deuxième choix : mettre en œuvre une ZCR (option (C)) ;
- (iii) Troisième choix : ne rien faire (option (A)).

— *Préférences de D_3* :

- (i) Premier choix : mettre en œuvre une ZCR (option (C)) ;
- (ii) Deuxième choix : ne rien faire (option (A)) ;
- (iii) Troisième choix : créer une infrastructure de bornes électriques (option (B)).

En comparant ainsi les options, les décideurs s'aperçoivent que deux d'entre eux (contre un) préfèrent une option à une autre, et cela quelque soit l'option : personne ne gagne à la majorité. Le vote à la majorité permet certes de comparer les options deux à deux, mais il ne permet pas de les classer toutes les trois ensemble. De surcroît, Arrow (1951) montre plus tard qu'il n'existe aucun système de décision collective qui puisse être garanti d'être exempt de toute forme d'incohérence (voir le théorème d'impossibilité d'Arrow à la section 1.3.3) : le seul moyen de résoudre ce problème et de s'assurer de la cohérence des choix étant alors de confier la responsabilité des décisions à un seul individu.

7.6.2 Quelques méthodes réduisant les incohérences

En tant qu'outil d'aide à la décision collective, CoBAYe ne déroge bien sûr pas au théorème d'impossibilité d'Arrow : ainsi, dans le cas où un collège de décideurs doit comparer et choisir parmi plus de deux options, il peut y avoir des incohérences dans la décision. La théorie des choix publics, et en particulier la théorie des votes, a fourni une littérature très détaillée sur la question, notamment sur les méthodes qui permettent d'aboutir à un vote en limitant au maximum les incohérences, dont quelques-unes sont présentées ci-après.

A première vue, il existe de nombreux cas pour lesquels de telles incohérences sont peu probables. En effet, supposons que, dans un vote à la majorité, la question ne porte que sur une variable (par exemple le montant des dépenses allouées à la réduction de la pollution urbaine) et que chaque individu ait une préférence plus « importante » pour un certain montant de cette variable. On peut alors anticiper que les électeurs (dans ce cas, le collège de décideurs) votent pour les options les plus proches de ce montant, ce qui implique que l'électeur médian déterminera toujours le résultat.

Cependant, les préférences peuvent être plus complexes : certains des décideurs préfèrent par exemple que le montant des dépenses allouées à l'amélioration de la qualité de l'air soit élevé. Ils voteront alors volontiers pour les options (B) et (C) plutôt que pour l'option (A)¹⁶, qui est le scénario de référence, dans lequel aucun montant n'est déboursé pour la qualité de l'air. Toutefois,

16. Les options (A), (B) et (C) sont les mêmes que celles présentées à la section 7.6.1. Cet exemple n'a, bien sûr, qu'une valeur illustrative.

les décideurs peuvent estimer que ces dépenses sont inadéquates s'ils jugent que les conséquences des options (B) et (C) ne permettent pas de remplir l'objectif de réduction de la pollution. Ils préféreraient alors peut-être voter pour un niveau très faible de dépenses plutôt que pour leur montant. Ainsi, lorsque les options ne se laissent pas classer au moyen d'une relation d'ordre totale, par exemple par rapport à une variable scalaire (c'est-à-dire en termes de « plus » et de « moins »), le paradoxe du vote peut alors apparaître et il n'existe aucune prédiction théorique claire quant au résultat d'un processus de décision collective.

Néanmoins, en s'inspirant à nouveau de la théorie des votes, il est possible d'utiliser quelques méthodes, dont une brève description est présentée dans cette section, pour réduire les risques d'occurrence du paradoxe et déterminer l'option candidate à la décision qui satisfait le mieux aux critères du collège de décideurs¹⁷ :

- *La méthode Borda*. La méthode Borda est une méthode de vote pondéré, dont la description est la suivante : on choisit un nombre n inférieur ou égal au nombre de candidats (ces candidats étant des décisions publiques). Chaque électeur construit alors une liste de n candidats par ordre de préférence. Au premier de la liste est attribué n points, au second $n - 1$ et ainsi de suite, le n -ième de la liste recevant 1 point. Le score d'un candidat est alors la somme de tous les points qui lui ont été attribués et le (ou les) candidat(s) dont les scores sont les plus élevés remportent les élections (Borda, 1781).
- *La méthode Black*. La méthode Black consiste à utiliser la méthode de Condorcet et, uniquement dans le cas d'un conflit, à utiliser la méthode Borda (Black, 1958). Chaque électeur range les candidats dans l'ordre de son choix et on construit alors le tableau des confrontations par paire. Si un candidat gagne toutes ses confrontations, c'est le gagnant de Condorcet et la méthode Black correspond alors à la méthode Condorcet. Si ce n'est pas le cas, on applique la méthode Borda pour trouver un gagnant.
- *La méthode Schulze*. Développée bien plus tard, la méthode Schulze choisit un gagnant simple dans un vote avec classement des candidats (Schulze, 2010). Il existe plusieurs heuristiques pour cette méthode, le plus connu étant sans doute l'heuristique du chemin

17. La liste suivante n'est pas exhaustive. Par ailleurs, pour chacune des méthodes présentées existent de nombreuses critiques (dont le débat entre le marquis de Condorcet et le chevalier de Borda déjà au 18^{ème} siècle) et ni cette section ni cette thèse n'ont la prétention d'apporter une contribution au débat théorique relatif aux méthodes de vote permettant de garantir une décision collective.

gagnant qui consiste, pour chaque électeur, à classer les options dans l'ordre de ses préférences. Leur agrégation permet alors de trouver, pour chaque option, le nombre de votants (les décideurs) qui préfèrent strictement cette option à une autre. On définit alors un *chemin de force c de l'option X à l'option Y* , la force du chemin étant égale à celle de son maillon le plus faible. En comparant les forces des chemins pour chaque candidat, on peut alors trouver les options gagnantes.

- *Constituer un groupe de tête et procéder à un choix à l'intérieur de ce groupe.* Parmi les options à choisir, on constitue un groupe de tête auquel une option appartient si, lors du décompte des votes, elle est parvenue à battre toutes les autres, sauf celles du groupe de tête. Une fois ce groupe de tête défini, plusieurs méthodes existent pour procéder à un choix à l'intérieur :
 - (i) en utilisant un vote alternatif¹⁸,
 - (ii) en choisissant le candidat qui a le moins perdu dans sa plus mauvaise confrontation,
 - (iii) en éliminant au fur et à mesure ceux dont la défaite a été la plus faible.
- *En utilisant des graphes orientés.* Dans ce cas, on classe les paires d'options selon les plus grandes différences observées et on construit alors un graphe orienté (qui gagne contre qui ?) en commençant par la paire ayant la plus forte différence et en descendant dans l'échelle en éliminant les paires qui pourraient conduire à une boucle (et donc à un paradoxe de Condorcet). Le graphe final permet alors de définir un gagnant. Cette méthode est d'ailleurs parfois référée à la méthode Condorcet avec rangement des paires par ordre décroissant (Tideman, 1987).

7.6.3 Les choix retenus dans l'outil CoBAYe

Comme dans le cas de l'analyse coûts-bénéfices, l'outil CoBAYe a pour objectif de comparer une option de projet à la situation de référence, c'est-à-dire celle pour laquelle aucun projet n'est

18. Dans un vote alternatif, chaque décideur classe tout ou une partie (respectivement selon la forme absolue ou optionnelle du vote alternatif) des options de décision par ordre de préférence. On compte les voix des premières options de la liste. Si une option obtient la majorité absolue des voix, elle est choisie. Sinon, on supprime l'option qui a recueilli le moins de voix et on barre son nom dans tous les bulletins des décideurs, modifiant ainsi le rang des candidats placés après l'option éliminée. De nouveau, on compte les voix des options premières de liste. On répète ainsi l'opération jusqu'à obtention d'une majorité absolue, ce qui arrive assurément (au pire lorsqu'il ne reste plus que deux candidats en lice). Le vote alternatif ressemble ainsi à la méthode de Coombs (1964), mais avec une technique d'élimination simplifiée.

mis en application (voir section 7.3). Sa mise en œuvre pratique consiste donc uniquement en la comparaison de deux options (A) et (B)¹⁹. Pour cette raison, l'outil CoBAYe tel que développé ne peut pas faire apparaître des paradoxes du vote, tels que celui de Condorcet.

En revanche, il peut être fréquent, que ce soit pour une décision publique ou privée, que le collège de décideurs s'intéresse à plus d'un scénario de projet : est-il plus efficace de relier deux quartiers par un tramway, un téléphérique urbain, ou bien l'intervention publique est-elle superflue (scénario de référence) ? Ou bien, dans un territoire donné, est-il plus rentable d'agrandir une usine de production de voitures, d'avoir recours à des entreprises sous-traitantes, ou bien est-il plus pertinent de choisir de se développer ailleurs ? Dans ces cas-là, l'outil CoBAYe permettrait de comparer, pour chaque option à l'étude, les effets obtenus par le scénario de projet en comparaison au scénario de référence²⁰, au moyen de la construction des structures topo-économiques du territoire correspondantes, et de leur évolution à mesure que des effets sont identifiés par les participants au processus de concertation. La comparaison simultanée de plus de deux options (par exemple les options (A), (B) et (C) décrites ci-dessus dans la description du paradoxe de Condorcet) peut alors être envisagée de plusieurs manières, dont par exemple, en fonction de la volonté du collège de décideurs :

1. L'utilisation de la méthode de Condorcet et de ses « raffinements » en cas de conflit, comme exposé ci-dessus. Chaque choix a des avantages et des inconvénients relatifs à la méthode choisie elle-même, par exemple le respect ou non de la règle de la majorité, de la cohérence, de l'optimum de Pareto, de la monotonie, ou encore de la symétrie par inversion parmi d'autres. D'autres méthodes que celles exposées ci-dessus, inspirées ou non de la théorie des votes, peuvent bien sûr également être envisagées par le collège de décideurs, par exemple en fonction des critères qu'ils souhaitent respecter ou du temps qu'ils ont à disposition.
2. Le recours, comme le fait l'analyse multi-critères (MCA), à une comparaison de scalaires. A chaque critère en jeu dans les options envisagées est affectée une valeur, dont la pondération peut être différente pour chaque décideur du collège. La somme de ces valeurs coefficientées

19. En reprenant les notations de la section 7.6.1, (A) désignant le scénario de référence et (B) le scénario de projet, c'est-à-dire l'option qui est à l'étude.

20. L'option (B) est comparée au scénario de référence (A), et l'option (C) est également comparée au scénario de référence (A). On peut également imaginer plusieurs scénarios de référence (A), (A'), (A''), déclinés à partir de plusieurs scénarios de prospective territoriale, et refaire les comparaisons correspondantes deux à deux.

permet alors d'attribuer un unique scalaire à chacune des options (B), (C) voire (D) considérées, et le choix de l'option préférée par le collège de décideurs se fait au moyen d'une relation d'ordre totale. Dans ce cas-ci, la discussion portera alors sur le choix des valeurs et des coefficients par chaque décideur ; ce choix requérant un jugement individuel et non collectif, il est sujet aux convictions, par exemple politiques, de chaque décideur membre du collège.

3. Enfin, comme le fait l'analyse coûts-bénéfices, le recours à une comparaison de scalaires particuliers, qui représentent la valorisation monétaire de chaque option. Comme expliqué dans le Chapitre 2 (et en particulier la section 2.5.2), à chaque effet identifié est associée une valeur monétaire, elle-même dépendant de l'horizon temporel d'évaluation de ces effets (section 7.5.3, propre à l'outil CoBAYe). C'est la somme de ces valeurs monétaires qui constitue alors le scalaire susceptible d'être comparé pour chaque option de projet considérée²¹.

Dans la description pratique de l'outil CoBAYe, nous avons fait le choix de laisser le collège de décideurs retenir la méthode de comparaison qui correspond le mieux à ses besoins. Si ce choix se porte sur une valeur unique, alors les méthodes de réduction à un scalaire, comme pour la MCA et la CBA, semblent les mieux adaptées. Si ce n'est pas le cas, alors nous pensons que la seule explicitation des comportements, actions ou réactions anticipés par chaque acteur lors du processus de concertation peut suffire à aider à la décision pour une option (B) comparée à une option (A). Il appartiendra alors au collège de décideurs de réitérer cette procédure pour les autres options de projet et, s'il le souhaite, les comparer au moyen des méthodes de décision collective inspirées de la théorie du vote, comme présenté plus haut.

21. La CBA et CoBAYe diffèrent toutefois sur l'agrégation des valeurs monétaires. En effet, l'analyse coûts-bénéfices définit alors un bénéfice (ou coût) social net en agréant les valorisations monétaires de toutes les conséquences prises en compte. L'outil CoBAYe propose plutôt une agrégation par acteurs et, éventuellement, une agrégation complète : s'il le souhaite, le collège de décideurs peut alors choisir de comparer les options, acteur par acteur, en s'intéressant par exemple aux bénéficiaires nets ou aux perdants nets de la décision si le critère de choix du groupe est plutôt l'équité que l'efficacité.

7.7 Conclusion

Le but de ce chapitre est de présenter de façon pratique les modalités d'utilisation de l'outil CoBAYe, tel un manuel d'utilisation à destination d'un couple « décideur - analyste » qui souhaiterait l'utiliser pour évaluer une décision intersectorielle. Pour cela, l'accent a été mis sur le processus de concertation nécessaire entre ce couple et des acteurs du territoire concernés par la décision, pour garantir une diversité des points de vue et l'obtention d'informations supplémentaires sur les comportements anticipés par ces acteurs en réaction à la décision.

De façon opérationnelle, l'outil CoBAYe doit alors mettre en œuvre les éléments suivants :

- (i) La construction d'un (ou plusieurs) scénario(s) de référence et de leurs *structures topo-économiques* (STE) respectives, par l'analyste et le décideur, en s'appuyant par exemple sur des scénarios de prospective territoriale et sur la vision politique de ce dernier. Cette construction peut être antérieure au processus de concertation, en fonction du temps dont disposent les participants au processus de décision concertée.
- (ii) La construction d'un scénario de projet grâce au processus de concertation mettant en pratique la méthode CoBAYe, qui consiste en :
 - l'établissement d'une *structure topo-économique* du scénario de projet, qui évolue en fonction des changements de la configuration économique du territoire engendrés par les anticipations des participants à la concertation eux-mêmes ;
 - l'identification des *effets* directs, indirects et induits de la décision, ainsi que celle des *opportunity benefits* en parallèle à l'étape précédente, chaque acteur étant invité à faire part de ses anticipations en fonction du comportement des autres participants ;
 - la détermination, par chaque acteur et pour chaque *effet*, d'un horizon temporel d'évaluation t^* , après lequel l'incertitude sur la réalisation ou l'ampleur de cet *effet* devient trop importante.
- (iii) Ces étapes permettent alors de mettre à jour d'une part la *frise* temporelle des *effets* identifiés par le collège des participants et, d'autre part, les représentations de l'évolution des STE du scénario de projet sous forme de graphes orientés.
- (iv) Trois choix sont alors proposés pour l'analyse de ces résultats :

- la modification éventuelle des modalités de mise en place de la décision au regard de la *frise* temporelle, en fonction de la vision politique du décideur et de son souhait de tenir compte des réactions probables des acteurs de son territoire ;
- l'identification des relations d'interdépendance entre acteurs d'une part, et de l'évolution de ces interactions au cours du temps, et pour chaque acteur dont l'analyse est souhaitée. En particulier, ce choix permet de mettre l'accent sur un acteur de façon spécifique et est, par conséquent, plus propice à un raisonnement sur des critères d'équité par exemple ;
- la valorisation monétaire, dans la mesure du possible, de chaque *effet* identifié, grâce aux prix du marché ou aux techniques existantes dans le cas de biens et services non-marchands. Cette étape permet en particulier d'éviter les incohérences qui peuvent résulter d'une décision collective au sujet de plus de deux options, mais les techniques de valorisation monétaire ont elles-mêmes leurs limites.

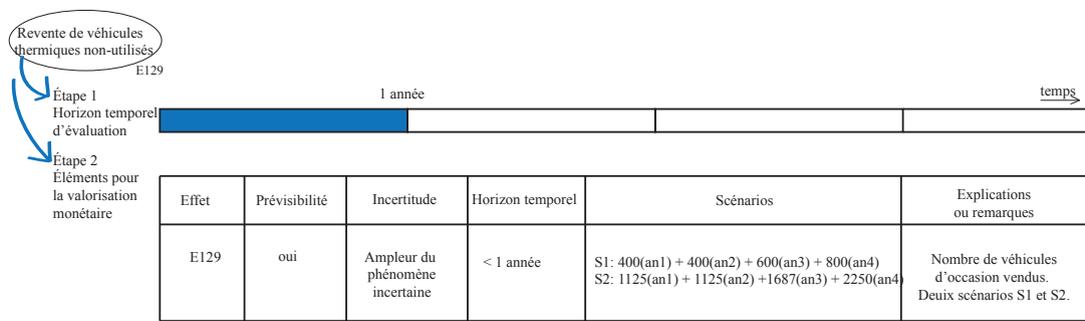


FIGURE 7.5 – La Figure 7.5 illustre l'identification de l'horizon temporel d'évaluation et la construction de scénarios qui en découlent, pour chaque effet. L'effet considéré dans l'exemple est tiré du Chapitre 9 et considère la revente de véhicules thermiques qui ne sont plus utilisés par des agents maintenant détenteurs de véhicules électriques.

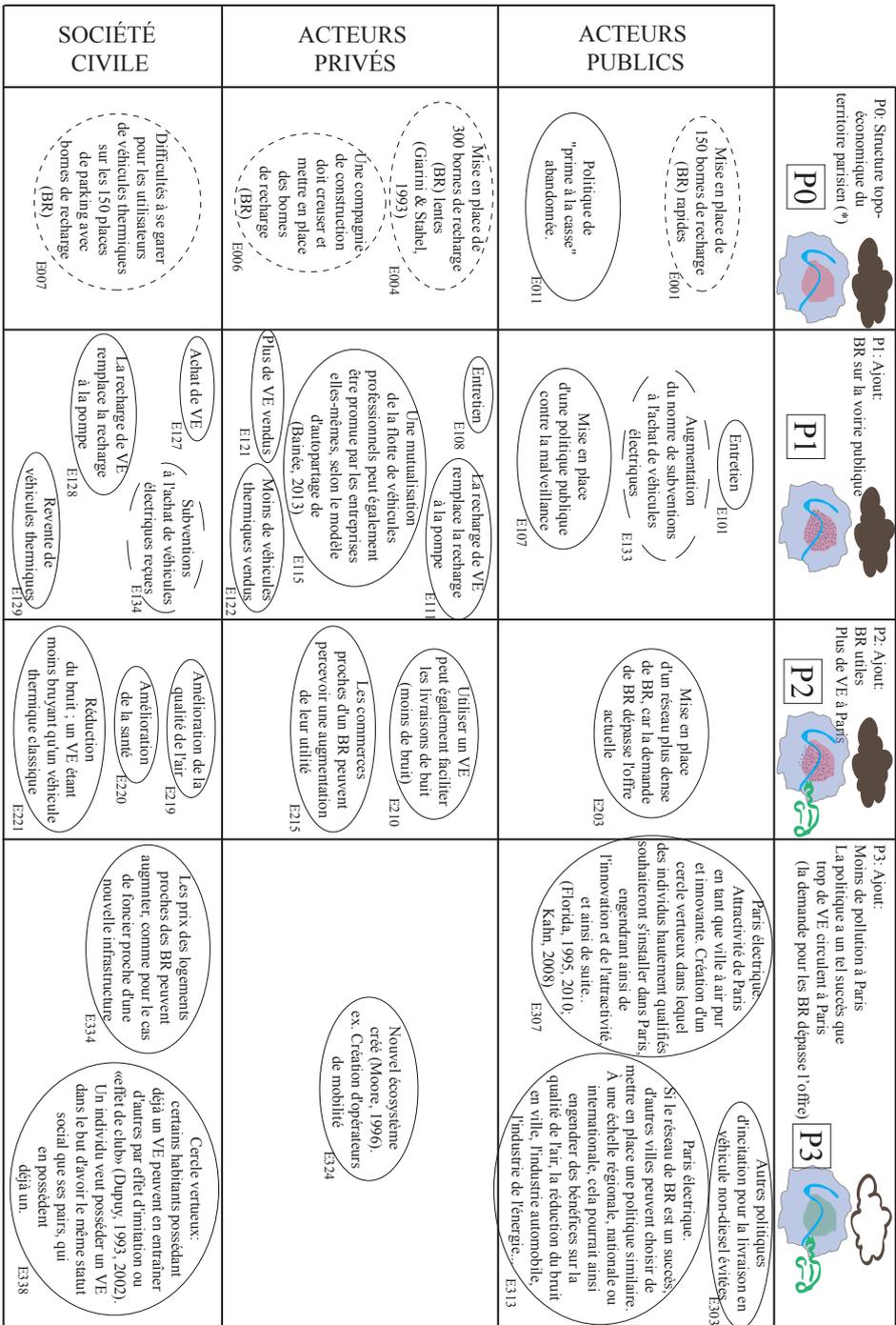
MOIS EFFETS	T0	12	13	24	25	36	37	48
Acteurs publics								
E001	t* ₀₀₁ ↔							
E011			t* ₀₁₁ ↔					
E101							t* ₁₀₁ ↔	
E107			t* ₁₀₇ ↔					
E133			t* ₁₃₃ ↔					
E203					t* ₂₀₃ ↔			
E303					t* ₃₀₃ ↔			
E307							t* ₃₀₇ ↔	
E313							t* ₃₁₃ ↔	

Acteurs privés								
E005	t* ₀₀₅ ↔							
E007	t* ₀₀₇ ↔							
E108							t* ₁₀₈ ↔	
E111							t* ₁₁₁ ↔	
E115							t* ₁₁₅ ↔	
E121							t* ₁₂₁ ↔	
E122							t* ₁₂₂ ↔	
E210							t* ₂₁₀ ↔	
E215							t* ₂₁₅ ↔	
E324							t* ₃₂₄ ↔	

Société civile								
E008							t* ₀₀₈ ↔	
E127							t* ₁₂₇ ↔	
E128							t* ₁₂₈ ↔	
E129							t* ₁₂₉ ↔	
E134			t* ₁₃₄ ↔					
E219							t* ₂₁₉ ↔	
E220							t* ₂₂₀ ↔	
E221							t* ₂₂₁ ↔	
E334							t* ₃₃₄ ↔	
E338							t* ₃₃₈ ↔	

FIGURE 7.6 – La Figure 7.6 fournit un exemple de représentation des différents horizons temporels d'évaluation des effets identifiés par l'outil CoBAYe. L'exemple est tiré du Chapitre 9.

CoBAYe: évaluation de la mise en place du réseau de bornes de recharge (BR) pour véhicules électriques (VE) à Paris (quelques effets)



(*) Cette structure du territoire comprend notamment la topographie, la pollution, les infrastructures, les besoins de logement, les zones d'emploi, l'environnement et la diversité des entreprises et commerces; la population (âge, caractéristiques), leurs modes de déplacement, le taux de possession automobile, les routines et les caractéristiques des déplacements pour aller et à des fins de loisirs, la gouvernance ou la régulation par exemple.



FIGURE 7.7 – Exemple extrait du Chapitre 9. Version simplifiée de la représentation par l’outil CoBAYe des effets de la politique publique de mise en place d’un réseau infrastructurel de bornes de recharge électrique dans Paris. Les effets directs, indirects et induits son représentés par des bulles dont le trait est respectivement plus plein.

Mise en oeuvre d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge électrique à Paris - résultats par CoBAYe

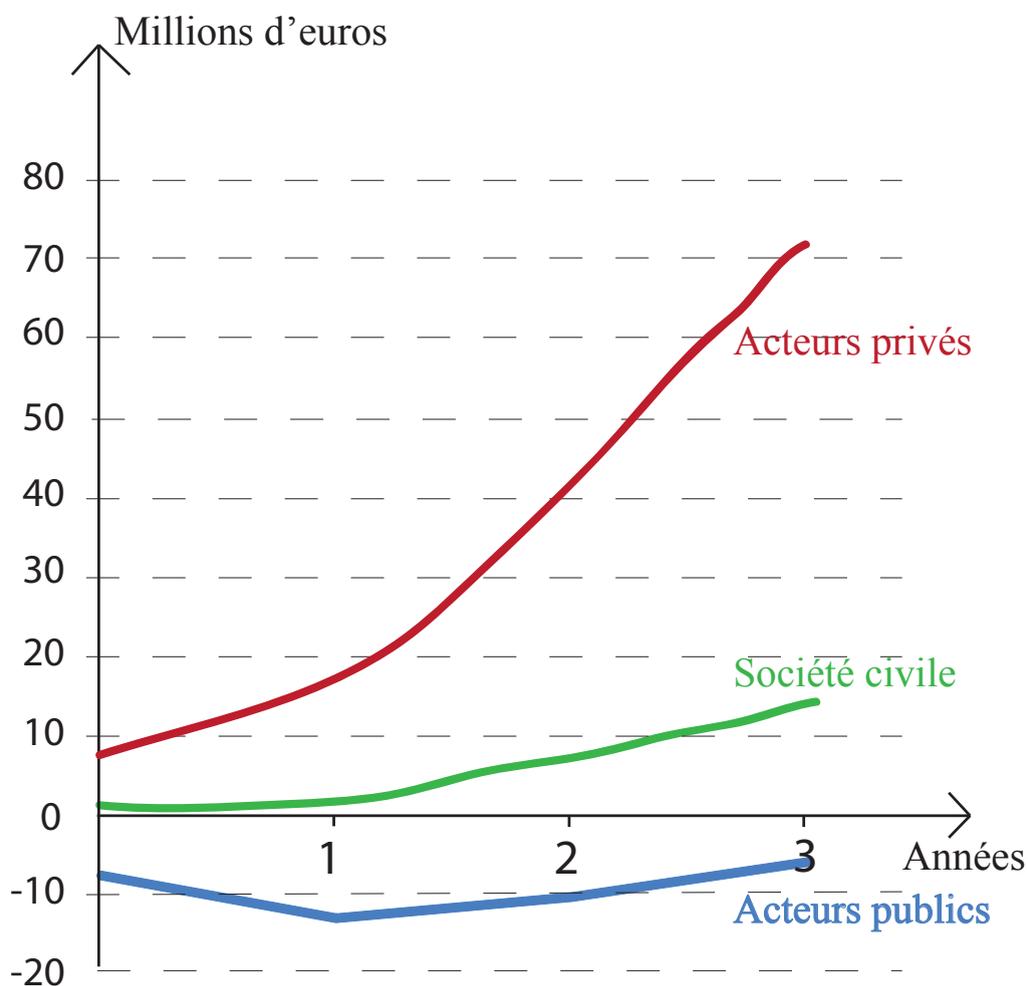


FIGURE 7.8 – Exemple de présentation de résultats possibles de CoBAYe pour des acteurs identifiés. L'exemple est tiré du Chapitre 9 pour une prise en compte de trois types d'acteurs en général. Une version plus affinée sur les agents économiques au sein de chaque type d'acteurs (publics, privés et société civile) est bien sûr également représentable sous cette forme graphique.

Chapitre 8

Les premiers pas de CoBAYe

8.1 Introduction

Après avoir présenté les fondements théoriques de l'outil d'aide à la décision CoBAYe ainsi qu'une proposition d'utilisation pratique, il nous a semblé important de tester cet outil. Dans la partie théorique précédente (Partie II), nous avons souhaité mettre l'accent sur trois éléments qui, à notre avis et en fonction des résultats obtenus au Chapitre 3, ne sont pas envisagés dans la pratique habituelle de l'analyse coûts-bénéfices, c'est-à-dire :

1. La prise en compte des effets dus à l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées lors de la mise en place d'une politique transversale et intersectorielle (voir le Chapitre 4) ;
2. Le caractère dynamique de ces effets, et notamment leur propagation dans les différents secteurs de l'économie, qui contribue à changer la *structure topo-économique du territoire* considéré (voir le Chapitre 6) ;
3. Plusieurs sources d'incertitude, qui affectent les choix non seulement du décideur lui-même, mais également des différents acteurs économiques concernés par la politique publique et dont le comportement ou les actions conséquentes peuvent par exemple engendrer des effets d'anticipation pour le décideur (voir le Chapitre 5).

Ces Chapitres ont ainsi présenté les fondements théoriques de l'outil d'aide à la décision CoBAYe, dans le but de prendre en considération ces trois innovations de procédé dans l'évaluation

de politiques publiques selon une méthode d'analyse des bénéfices et des coûts. Enfin, ils permettent aussi d'introduire le Chapitre 7 qui propose un « mode d'emploi » pour utiliser l'outil d'aide à la décision CoBAYe dans l'objectif d'évaluer une politique publique intersectorielle. Cependant, une fois ce modèle théorique défini, qu'en est-il dans la pratique? Certes, le *mode d'emploi* ainsi défini existe, mais est-il réellement applicable? Un analyste peut-il s'en munir et commencer en l'état une analyse d'une politique de mobilité et d'environnement par exemple? Enfin, quelle est l'efficacité de cet exercice?

Nous avons essayé de répondre à ces questions en organisant, en étroite collaboration avec une partie des services techniques de la Mairie de Paris¹, un atelier de prospective de mobilité afin de mettre les participants en condition d'un exercice d'analyse utilisant la méthode développée dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe pour analyser des « scénarios de mobilité durable », entendus comme des scénarios au cours desquels la Mairie de Paris, en concertation avec d'autres acteurs (en particulier dans le cas où il est question de politiques dont le territoire concerné dépasse celui pour lequel le Maire est compétent), déciderait de politiques publiques en agissant sur le secteur de la mobilité et des déplacements pour améliorer la qualité de l'air urbain.

L'outil d'aide à la décision CoBAYe a donc été testé par des praticiens au cours d'un atelier de prospective de la mobilité, dans les locaux de la Direction de la Voirie et des Déplacements de la Mairie de Paris en juin 2013². Le but a donc été double :

- d'une part d'identifier les effets que les participants, autour d'une table, pouvaient conjecturer au sujet d'une variété de politiques de mobilité et d'environnement qui leur ont été proposées et,
- d'autre part, de tester par ce moyen la faisabilité et la praticabilité d'une mise en œuvre pratique de l'outil CoBAYe.

1. Nous remercions à nouveau chaleureusement l'Agence de la Mobilité, de la Direction de Voirie et des Déplacements de la Mairie de Paris, et spécialement le pôle Mobilité Durable, pour son aide, son appui - tant technique et logistique que humain - et son soutien pour la réalisation de cet exercice.

2. De façon plus précise, l'atelier a eu lieu le 5 juin 2013 de 14 heures à 18 heures au 40 rue du Louvre, à Paris, en présence de douze participants et d'une même quantité d'animateurs et d'observateurs. Un compte-rendu de la séance a été envoyé aux personnes présentes (Ruffin *et al.*, 2013). Toutefois, cet exercice ayant eu lieu au bout de dix-huit mois de thèse, ce n'est pas exactement la méthode qui est aujourd'hui décrite dans le Chapitre 7 qui a été exposée aux participants, mais une version antérieure et pas encore complète. Nous avons par conséquent utilisé les informations obtenues au moyen de cet exercice pour améliorer la méthode et les conditions d'utilisation de l'outil d'aide à la décision CoBAYe et nous tenons aussi à remercier les participants à cet atelier pour cette raison.

L'objectif de ce Chapitre est donc de présenter quels ont été les enseignements tirés du test de l'outil CoBAYe dans les conditions préconisées par le modèle lors de la demi-journée de l'atelier de prospective. Pour cela, nous commençons par une description de la méthode retenue pour l'exercice (section 8.2), puis nous enchaînons par une présentation des résultats de l'exercice d'analyse (section 8.3) et nous terminons par les enseignements de cet exercice et les conséquences de ce test sur le développement futur de l'outil d'aide à la décision CoBAYe (section 8.4).

8.2 Une mise en œuvre de la méthode de CoBAYe

Dans le choix des participants comme dans la méthode de l'exercice, nous avons tenté dans la mesure du possible de respecter la méthodologie d'utilisation de CoBAYe, c'est-à-dire les *conditions d'utilisation* qui ont été énoncées à la section 7.2. Pour cela, nous avons donc invité des académiques, praticiens et décideurs, de disciplines et d'horizons différents, pour participer à l'exercice. Tous les participants étaient volontaires et étaient au courant de la législation et du fonctionnement des institutions françaises, notamment les caractéristiques de la gouvernance en France et plus spécifiquement dans la région Île-de-France. Cet élément était important pour que tous les intervenants identifient des effets calibrés et réalistes par rapport à l'échéance de leur occurrence et au comportement possible des acteurs locaux. Par ailleurs, dans le déroulé de l'exercice, les participants étaient tous en mesure à la fois de noter leurs idées de manière posée et également de les défendre dans un débat. Nous pensons donc que les conditions de l'exercice respectaient les conditions d'utilisation de CoBAYe, et voyons par conséquent en cet exercice un exemple de simulation adéquat du fonctionnement de l'outil et son appréhension par des décideurs et autres acteurs du territoire.

8.2.1 Les conditions de l'exercice : une simulation de CoBAYe

Le choix des participants

Nous avons déterminé trois rôles pour les personnes présentes lors du jour de l'atelier de prospective.

- Cinq *animateurs* de l'exercice étaient requis pour lui donner une diversité de points de vue et une interactivité. Ceux-ci ne devaient pas influencer l'exercice et l'identification des

effets pour chaque scénario de politique publique passé en revue, mais avaient uniquement pour tâche de recueillir d'expliquer les conditions de l'exercice, d'introduire les types de scénarios de politique publique, leur nature et leur teneur, de les expliquer le cas échéant, d'orienter le débat et de faire en sorte que le temps de parole soit réparti entre tous les participants autour de la table, de recueillir les notes des participants, de les recenser et de les faire partager à toute l'assistance. Enfin, il leur était également demandé d'observer et de prendre note des réactions et des idées de chaque participant.

- Ensuite, quatre *observateurs* de l'exercice avaient pour rôle de prendre note de tout ce qui était mentionné à l'oral uniquement mais de ne pas intervenir dans les discussions d'idées ou les débats. Ainsi, même si les idées et le recul que peuvent détenir la position d'observateurs est sans doute pertinent pour une analyse « à chaud » mais transversale, nous pensons que ce choix était nécessaire afin de conserver intactes les conditions de l'exercice et rester ainsi fidèle à une « simulation » d'utilisation de l'outil CoBAYe. Leur intervention n'a toutefois pas été brimée, et c'est notamment à leur recul postérieur à l'exercice que chaque participant a pu recevoir une synthèse des travaux et idées qui ont émergé au cours du débat. Par conséquent, les personnes qui jouaient ces deux premiers rôles n'influençaient pas le choix et l'identification des effets, et ne permettaient pas d'induire des biais quant à l'utilisation de l'outil.
- Enfin, douze *participants* ont bien volontiers accepté de jouer le rôle de décideurs et d'agents économiques concernés par le processus de décision et ses conséquences au cours de l'exercice. Ces douze personnes ont été choisis pour refléter des points de vue divers et étaient de disciplines différentes, opérationnels, chercheurs et décideurs (ou conseillers de décideurs) avec parmi des ingénieurs, économistes, urbanistes et sociologues.

La préparation avant l'exercice

Les politiques publiques qui ont été proposées pendant l'exercice résultent d'un premier tri entre une variété de mesures publiques possibles qui avaient été transmises par questionnaire aux intervenants deux semaines avant la tenue de l'exercice. À l'issue de leur réponse, et en fonction de la concordance et de la discordance des effets et des réponses, un tri a été effectué afin de

cibler les mesures sur lesquelles il serait plus pertinent de travailler pendant la demi-journée de l'atelier de travail en fonction de (au moins) deux critères principaux :

- d'une part, la volonté de faire émerger des débats concertés et des évaluations possibles,
- et, d'autre part, la volonté de proposer des thèmes de politiques publiques à la fois réalisables tout en gardant en vue la possibilité d'innover.

Aucun choix n'a donc été fait afin d'accommoder la « prise en main » de l'outil d'aide à la décision CoBAYe. En particulier, même si nous sommes d'avis que l'outil CoBAYe est plus efficace lorsqu'il est question de politiques publiques transversales, aucun critère n'a été formulé par avance sur le choix de tels scénarios de politiques publiques, que ce soit lors du premier envoi aux participants ou dans le tri pour la discussion le jour de l'exercice : seules les réponses des participants ont influencé le choix des scénarios de politiques publiques pour la discussion. Ceux-ci sont d'ailleurs présentés en section 8.3.

Les « règles du jeu »

Au début de l'exercice, en introduction, les enjeux de l'exercice ont été présentés aux participants par les animateurs. En ce qui concerne l'outil d'aide à la décision CoBAYe, il s'agissait notamment d'expliquer la démarche d'évaluation aux participants et de leur exposer les « règles du jeu », afin, d'une part, d'avoir un rendu le plus fidèle aux conditions d'utilisation de CoBAYe et, d'autre part, de permettre de recenser le maximum d'idées sujettes à discussions par les différents points de vue des participants. Ainsi, pour chaque scénario de mobilité durable proposé à la discussion au cours de l'exercice, le déroulé était le suivant :

1. Un animateur annonce et présente le scénario de mobilité durable au moyen d'un support visuel. L'explication de ses caractéristiques est faite à l'oral, en fonction des commentaires des participants. Chacun de ces scénarios de politique publique est composé d'une mesure publique au moins et d'hypothèses sur les comportements d'acteurs économiques à la suite de sa mise en œuvre. Nous pensons que cette étape est similaire à celle d'une mesure publique qui mûrit au sein des services techniques d'un décideur, ou de son cabinet, avant son évaluation, l'explicitation de ses conséquences et la décision prise à son sujet. Nous pensons donc bien simuler ainsi une des étapes de la prise de décision.

2. Chaque participant a à sa disposition des « *post-it* »³ de couleur jaune, verte et rose, chacune attribuée à un type d'effets (direct, indirect et induit tels que définis dans la figure 8.1) de sorte à tester la praticabilité de la typologie. Pendant dix minutes, chaque participant réfléchit donc et écrit les idées qui lui viennent à l'esprit. Nous avons demandé aux participants de réfléchir à ces idées comme des effets directs, indirects, induits⁴ ou éventuellement d'autres effets ne rentrant pas dans la typologie, dans le but de l'améliorer. Enfin, ces effets sont évidemment des conséquences du scénario présenté précédemment, mais leur identification repose sur l'hypothèse formulée que le scénario de référence est choisi comme étant la déclinaison parisienne du Plan de Déplacements Urbains en Île-de-France (PDUIF) 2012-2020 (STIF, 2012).
3. Par la suite, deux animateurs « ramassent les copies », c'est-à-dire qu'ils récupèrent les « *post-it* » remplis par les participants et les collent sur un support papier au milieu de la salle, visible par tous. Ce support papier est en fait le tableau de la typologie des effets présenté à la figure 8.1, mais vierge initialement. Il se remplit donc à mesure que les animateurs collent les « effets-*post-it* » dans les cases correspondantes aux quatre catégories d'effets. De cette façon, à chaque scénario de mobilité durable envisagé correspond un tableau représentatif de la typologie de l'outil CoBAYe et assorti des éléments argumentés de chaque participant. Cette méthode a notamment facilité l'orientation du débat, la prise de notes, la synthèse, et surtout l'amélioration de la méthodologie de l'outil CoBAYe.
4. Afin que chaque participant soit au courant des effets mentionnés par tous, les deux animatrices lisent les effets identifiés par chacun à tous les participants, de façon structurée : coûts directs, coûts indirects, coûts induits, bénéfiques directs, bénéfiques indirects, bénéfiques induits. Cette méthode permet donc à l'exercice de simulation d'être le plus proche de l'utilisation proposée de l'outil CoBAYe (voir chapitre 7.2), au cours de laquelle les effets sont identifiés puis discutés par un processus de concertation.

3. Par le terme « *post-it* », nous entendons des petites feuilles de papier autoadhésives amovibles, et rassemblées en petits blocs, ici de couleur, pour distinguer les différents types d'effets. Bien évidemment, l'usage de « *post-it* » était important pour l'analyse ultérieure de cet exercice. Nous ne préconisons pas forcément cette forme de communication dans la mise en œuvre effective de CoBAYe et l'organisateur peut évidemment choisir entre une communication orale ou écrite (sous forme de papier ou de synchronisation d'éléments écrits numériquement par ordinateur ou tablette pour ne citer que ces exemples). Enfin, les couleurs des *post-it* n'ont qu'une valeur illustrative, pour mieux faire ressentir les conditions du test au lecteur.

4. Ces effets sont tels que définis dans la figure 8.1 ; leur définition est donc légèrement moins complète que celle de la section 4.6.2.

5. Par la suite, un animateur propose une discussion des effets qui paraissent susciter le plus de matière à réflexion et le plus de débats. Cette discussion a donc pour but d'engendrer un débat, des précisions sur les effets en question et de confronter les participants, comme le feraient des acteurs économiques aux points de vue et intérêts divergents lors du processus de concertation.
6. Enfin, à l'issue du débat, et afin de prendre note des réflexions qu'il a pu engendrer et d'ajouter ses commentaires, chaque participant peut à nouveau pendant cinq à dix minutes écrire sur d'autres « *post-it* » les effets directs, indirects et induits auxquels il a pensé pendant le débat. Cette étape simule la propagation des effets, dans une approche dynamique d'évaluation, chaque acteur réagissant en fonction des conséquences énoncées lors du débat et en fonction de la nouvelle configuration du territoire qui résulte de la mise en œuvre de la mesure publique (c'est-à-dire de la nouvelle structure topo-économique qui résulte de cette configuration et des changements de comportement des autres acteurs). Cette étape n'est pas suivie d'un débat, mais la restitution des idées a fait l'objet d'un compte-rendu sous forme écrite aux participants quelques jours plus tard (Ruffin *et al.*, 2013).

Trois éléments importants sont à noter dans cet exercice concernant la méthode d'évaluation employée lors de l'atelier et celle présentée au Chapitre 7 par exemple.

1. La méthode envisagée au cours de l'exercice est axée sur l'identification des effets en utilisant la typologie proposée par l'outil CoBAYe. Toutefois, la prise en compte dynamique de la propagation des effets n'est pas intégrée de façon explicite dans les « règles du jeu » de l'exercice, mais intervient lors de la phase d'identification des effets sur « *post-it* » suivant le débat. En effet, à l'issue de celui-ci, les acteurs ont eu connaissance des différentes actions des autres participants et adaptent leur propre comportement en fonction. Par rapport au vocable de la section 6.2.3, cette étape « *post-it* - débat - *post-it* » simule un seul changement de structure topo-économique (par exemple de \mathbb{P}_0 à \mathbb{P}_1), et il aurait probablement fallu une succession de telles étapes pour avoir une propagation des effets faisant intervenir plus de deux structures topo-économiques du territoire parisien.

CoBAYe: typologie des effets et exemples illustratifs (cas de la mise en place d'une ZAPA)

Autres effets	Effets		Positifs (bénéfices)	Négatifs (coûts)
	Structure éco inchangée	Structure éco changée		
	Indirects Externes	Directs Internes		
	<p>liés à la mise en place d'actions AV/EC: l'intervention complémentaire d'acteurs publics ou privés :</p> <p>Intervention complémentaire d'un agent</p> <p>a. politiques d'accompagnement, densification ou de développement décidées a posteriori</p> <p>b. politiques, actions et activités qui existaient et qui n'ont plus lieu d'être</p> <p>c. politiques que l'on a évité de conduire</p> <p>d. activités privées rendues possibles par la nouvelle configuration</p> <p>e. activités privées supprimées par la nouvelle configuration, car non "renables"</p>	<p>liés aux actions qui se sont déroulées, ou ont été mises en place sans autre intervention publique, ni impulsion ni soutien publics.</p> <p>Visés</p> <p>liés aux actions qui se sont déroulées, ou ont été mises en place alors qu'elles n'étaient pas visées. Toujours sans autre intervention, impulsion, ni soutien publics.</p> <p>Atteints mais non visés</p>	<p>Moins de PM10 dans l'air</p> <p>Diminution du nombre d'embouteillages</p>	<p>Certains secteurs (transport routier) sont peut-être très affectés</p> <p>les véhicules "polluants" rouent et polluent ailleurs</p> <p>pas d'interdépendance entre secteurs routier et véhicules "polluants" rouent et polluent ailleurs</p>
			<p>Une politique de sécurité civile nocturne peut être nécessaire après la mise en place d'un quartier piétonnier</p> <p>Plus de obligation de faire un dépistage systématique contre une pathologie (asthme)?</p> <p>Politique de santé, Politique de réduction de CO2</p> <p>Les véhicules "polluants" sont vendus ailleurs</p> <p>Diminution des activités de garage</p> <p>Certains entreprises de location de voitures doivent peut-être fermer</p>	

Extrait de Le Goff, R., Pons, S.L. (2013). "Analyse Coûts-Bénéfices, Incertitude, Interdépendance: la méthode CoBAYe" (Working Paper de l'UEA, ENSTA ParisTech). Prière de ne pas diffuser, article en cours de soumission)

FIGURE 8.1 – Typologie des effets munie d'exemples illustratifs proposée dans la méthodologie CoBAYe lors de l'atelier de prospective sur la mobilité durable en juin 2013. Version antérieure à celle présentée dans les chapitres 4.6.2 et 7.

2. La prise en considération de l'incertitude n'a pas été un élément visible dans l'exercice. Certes, il est bien possible que les choix des différents participants aient été formulés en fonction du scénario de mobilité présenté et de leur propre rationalité procédurale, mais les conséquences de cette incertitude n'ont pas été explicitées. En particulier, le temps nous a manqué pour définir et expliciter un horizon temporel d'évaluation pour chaque effet.
3. Enfin, la valorisation monétaire est également un élément qui n'a pas pu être traité par manque de temps. Toutefois, cette étape relève plus de l'analyste que de l'ensemble des acteurs pluridisciplinaires associés autour d'une même table, donc l'intérêt d'en discuter au cours de l'exercice était secondaire aux priorités présentées ci-dessus.

La suite de ce chapitre présente les scénarios de mobilité durable présentés et discutés lors de la demi-journée de l'atelier et les enseignements tirés de cet exercice. Dans cette dernière section, nous discuterons plus en détail de la différence entre les attentes de l'exercice et des conséquences de sa tenue vis-à-vis de l'amélioration de l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

8.3 Les « scénarios de mobilité durable » proposés

Dans cette section, nous proposons à des fins argumentatives la présentation de quelques unes des politiques qui ont formé les scénarios de mobilité proposés lors de l'atelier, envisagés par les services techniques de la Ville de Paris, et de les faire suivre par les résultats obtenus après le processus d'identification des effets et de débat des participants. Les scénarios de mobilité durable sont extraits des documents réalisés pour la tenue de cet atelier (Ruffin *et al.*, 2013) et les résultats sont présentés sans interprétation.

8.3.1 Incitations à la désynchronisation des horaires dans la perspective d'un lissage des pics de circulation

Le scénario envisagé

La ville de Paris encourage le développement des solutions permettant la désynchronisation partielle des horaires. Elle communique sur l'opportunité, pour les entreprises, l'administration et les grandes universités, de repenser l'organisation de leur activité de manière à favoriser,

lorsque cela est adapté, la possibilité de travailler à distance ou selon des horaires décalés. Afin de contribuer plus activement à ce mécanisme vertueux, la ville expérimente un système d'incitations financières visant à valoriser les changements de pratiques et rétribuer de manière aléatoire les participants. Il s'adresse à un nombre restreint d'individus (les étudiants et le personnel d'une université, par exemple) et fonctionne sur la base du volontariat (Ruffin *et al.*, 2013, extrait).

Les résultats de la simulation par CoBAYe

Bénéfices directs

- Écrêtage des « hyperpointes » de transport
- Gain économique sur la structuration de l'offre
- Réduction de la congestion => réduction de la consommation de carburant => réduction de la pollution
- Baisse du nombre et de l'intensité des pics de déplacement à un instant t
- Hausse du travail à distance
- Réduction des flux en pic dans un premier temps ; usage des transports en commun (TC) augmente en dehors des « anciennes » heures de pointe
- La conscience des gains est déjà présente : si possible, les ménages évitent les pointes
- Gain si réorganisation de l'institution, donc s'il existe un accompagnement et une garantie de la pérennité des changements
- Décongestion en heures de pointe

Bénéfices indirects

- Présence accrue au sein des quartiers
- Décongestion urbaine
- Diminution du bruit
- Changement des valeurs sociales au sein de l'entreprise
- Les entreprises qui mettent en œuvre augmentent leur attractivité
- La diminution du trafic conduit à des changements domicile-travail pour être à « isotemps » (boucle rétroactive négative)
- Décongestion des transports en commun
- Moins de stress dans les transports en commun
- Gain de productivité
- Gain d'efficacité et de confort
- Déjà à l'œuvre (à Rennes, aux États-Unis, Transilien)
- Augmentation du bien-être des travailleurs (transport moins stressant, moins de trafic, moins d'incertitude quant à l'heure d'arrivée)
- Amélioration de la qualité de l'air si diminution de la congestion (mais hypothèse qui mériterait d'être validée scientifiquement)
- Stratégie de localisation résidentielle : on envisage d'aller habiter plus loin si on n'a plus besoin de venir au travail à Paris tous les jours
- Flexibilité accrue dans le temps. Changement de temporalités du monde du travail -> mélange d'activités dans le temps
- Transformation (ou plutôt accompagnement) de la transformation du travail -> délocalisation, désynchronisation, autonomisation des pratiques

Bénéfices induits

- Développement de levier de travail à distance et de nouveaux services
- Politique sur les PDE/PDIE à favoriser
- Implication d'autres acteurs au niveau régional et national, ex : État (communication)
- Des incitations autres que financières seront à trouver
- Plutôt que des incitations financières, rétributions (y compris symboliques) collectives : élargissement de l'ouverture des horaires de crèches, bibliothèques publiques et universitaires (24h/24) (incitation importante en termes d'égalité des chances)
- Lissage pics
- Étalement dans le temps du trafic => atténuation des pics de trafic du matin (et, dans une moindre mesure sans doute, du soir)
- Étalement dans le temps de la fréquence des TC

Autres bénéfices

- « Territorialisation » des activités de la vie quotidienne

Coûts directs

- Les horaires ne sont-ils pas déjà désynchronisés ? (fort étalement de la pointe)
- Les marges de manœuvre de jours décalés sont plus fortes
- Risque d'adhésion limité malgré les incitations financières de la Ville de Paris

Coûts indirects

- Contraintes sur les chaînes de mobilité
- Étalement des flux automobiles => appel d'air => plus de véhicules vont circuler
- Inégalités de valorisation du comportement vertueux (le concept des « capacités » pour Sen)
- Changement des valeurs sociales au sein de l'entreprise
- Tensions dans les établissements concernés entre les anciens flexibles et les nouveaux flexibles ; entre les permanents incités et les précaires décalés hors expérimentation
- Problème de l'expérimentation sur les organisations quotidiennes lourdes à reconfigurer
- Baisse du temps partagé en famille
- Renforcement des inégalités des « agités » contraints (ex : personnel peu qualifié - industrie) si seuls 3 à 5% de désynchronisation suffit : besoin de justice sociale dans une incitation qui doit toucher les cadres (avec condition : report ou continuité du déplacement domicile-travail dans les TC!)
- « Cassure » des moments (arrivées, départ) partagés par les collègues
- Stratégie de localisation résidentielle : on envisage d'aller habiter plus loin si on n'a plus besoin de venir au travail à Paris tous les jours
- Déstructuration des modes de vie des familles
- Abus de certaines entreprises/groupes pour des besoins de flexibilité
- Difficulté des marges non-véhiculées ou mal desservies par les TC (surtout si la desserte TC n'évolue pas 24h/24)
- Flexibilité accrue dans le temps. Changement de temporalités du monde du travail -> mélange d'activités dans le temps

Coûts induits

- Inventer d'autres « incitatifs »
- Baisse de la socialisation au travail si hausse du travail à distance
- De toute façon, on n'est pas capable de prévoir les effets induits d'une plus grande liberté dans la temporalité
- Demande de baisse de Versement Transport contre un effort de désynchronisation

Autres coûts

- Problème de cohésion au sens d'une territoire
- Mesures d'accompagnement des salariés à envisager (tous types d'emploi et de statut). ex : voiture de fonction (partagée/collective) ; vélos de service
- Et si le principal verrou était du côté de l'entreprise qui se met en situation pour permettre la synchronisation, et même en tirer profit
- Mais pourquoi continger cette politique alors qu'elle est attendue par une part importante de tous les salariés ?

8.3.2 Utilisation du « *crowdsourcing* » pour une action publique efficace, au plus près des attentes des usagers

Le scénario envisagé

Une place plus grande est accordée aux initiatives collaboratives et libres de droit. L'open data s'impose comme un facteur essentiel de l'action publique. L'organisation de concours de conception d'applications permet d'encourager le traitement des données et leur transformation en un contenu accessible au plus grand nombre.

Les services de la ville s'appuient sur les données issues du crowdsourcing⁵ pour mieux cibler leur intervention sur l'espace public ainsi que favoriser l'engagement des parisiens dans l'amélioration de la qualité de leur cadre de vie. La mobilisation de ces données passe par un changement profond dans les méthodes de travail en interne et la formation du personnel technique peu habitué, à ce type de contacts avec les usagers. Un dispositif est mis en place afin de modérer les flux d'information et assurer une fiabilité maximale.

Une application Smartphone de signalement des problèmes rencontrés dans l'espace public – à l'image de « Dans-Ma-Rue », expérimentée au printemps 2013 – est pérennisée. Elle permet la remontée d'informations relatives aux anomalies constatées par les usagers, des problèmes de voirie en passant par la malpropreté jusqu'à la défaillance du mobilier urbain.

Le crowdsourcing est également mobilisé pour collecter et diffuser des données en temps réel relatives à l'offre de transport en général, à la congestion des réseaux et à la qualité de l'air. La finalité est alors de provoquer, par une sensibilisation accrue aux enjeux de la pollution atmosphérique, un changement sensible dans les comportements de mobilité.

Enfin, l'émergence de pratiques collaboratives dans le partage d'informations ou de solutions de mobilité change progressivement les pratiques de déplacement et le rapport à l'automobile. Ces technologies peuvent accompagner les pratiques actuelles de mobilité pour plus d'efficacité. Elles

5. Le cas le plus célèbre est probablement Wikipédia. Le crowdsourcing consiste en l'utilisation de l'intelligence collective pour réaliser certaines tâches habituellement confiées à une entité ou un individu. Le domaine de l'urbain est riche en exemples aussi bien libres de droit que commerciaux : openstreetmap.org, jaccede.com, brickstarter.org, Waze, beecitiz.com... Ils permettent d'obtenir une information enrichie et au plus proche des connaissances et des besoins des usagers.

permettent l'échange d'information en temps réel sur les perturbations (via Twitter, Waze ou d'autres outils de cette nature) ainsi que sur les meilleures solutions de mobilité. Elles facilitent également l'émergence de solutions de covoiturage dynamique et d'autopartage entre particuliers.

La puissance publique encourage et stimule ces nouvelles perspectives mais elle s'interroge sur les effets pervers, comme l'impact sur la gestion publique des situations perturbées et des incidents graves ou les discrédits portés par les usagers sur un type d'offre (Ruffin *et al.*, 2013, extrait).

Les résultats de la simulation par CoBAYe

Bénéfices directs

- Transports plus fluides
- Hausse de l'intelligence des mobilités, se traduisant par une réduction de la pollution urbaine
- Connaissance par chacun des conditions de sa mobilité : monitoring jour après jour => aide au choix du moyen
- Augmentation de l'efficacité des choix et des décisions publiques
- Augmentation de l'exploitation des données
- Augmentation de l'offre d'information
- Hausse de l'intelligence des mobilités, se traduisant par une réduction de la congestion urbaine
- Amélioration de la connaissance par les usagers de la ville (ex : qualité de l'air) => agir individuellement en toute connaissance pour un gain collectif
- Système davantage observé => augmente le pouvoir de gestion
- Développement des outils numériques ciblés sur les modes actifs => impact positif sur la réduction de la pollution

Bénéfices indirects

- Formation de l'ensemble des agents de la ville à des outils et transformation de ces outils en outils de travail (sourcing professionnel, anomalies rencontrées...)
- Nouvelles missions des agents : information transversale des usages
- Éventuellement impact positif sur la qualité de l'air si le crowdsourcing permet de rendre durable le changement de comportement (ex : les nids de poule sont tout de suite réparés donc la pratique du vélo est tout le temps agréable)
- Association des usagers à la gestion des politiques publiques
- Transports moins stressants (ex : baisse du risque d'embouteillages si on est prévenu à l'avance)

Bénéfices induits

- Montée en puissance d'opérateurs globaux dans ce domaine (Google, Yahoo, ...)
- Développement de plateformes ou sociétés autour de ces nouveaux services
- Émergence d'une économie servicielle avec de nouveaux modèles : Waze = 1G\$ (facebook, google)
- Nouveaux partenariats public-privé dans l'exploitation des données pour maximiser l'usage des investissements, et mieux agir
- Développement du covoiturage dynamique => moins d'autosolistes
- (souhaitable) : Les difficultés de formation de certains agents aideront à s'interroger sur d'autres moyens d'information à temps réel pour tous les usages. Ex :
 1. bornes physiques tactiles au sein de lieux emblématiques (administration, poste...) et transports en commun
 2. du personnel humain pour former, relayer des informations sur le terrain
- il s'agit de définir et proposer ici un nouveau contrat social

Coûts directs

- Augmentation du temps passé devant un écran à analyser des données
-
- Il faudrait que les pratiques de gestion de situations perturbées pour les organisations publiques soient jugées fiables et crédibles
- L'information en temps réel ne sera accessible qu'à une partie limitée de la population (flux, CSP) si elle se limite à des « applications »

Coûts indirects

- Principe discriminatoire à l'égard des démunis (ceux qui n'ont pas de smartphones), des personnes âgées et des handicapés
- Problème d'acceptabilité si modération du flux d'informations et traçage de la Mairie de Paris : effet « Big Brother »
- Difficulté de formation des agents, refus, sentiment de risque de surcharge d'horaires
- Le citoyen relié à son collectif agit avec ou sans l'accord des puissances publiques pour défendre ses objectifs
- Si on parle de l'implication citoyenne, cela pose la question de la gouvernance
- Quels indicateurs vont émerger de la contribution de la foule ?
- Effets importants de facilitation de l'organisation des déplacements => effet multiplicateur sur les déplacements
- Risque de « lobbying » = groupes hyperactifs sur les réseaux sociaux, pour doper artificiellement leur représentation
- Création de « sens » et de « vérités » qui restent non-validés type « rumeur publique »
- Remontée des problèmes : sens majoritaire pour les lieux les plus représentés. Qu'est-il de l'intérêt général ? De l'équipement intermodal des territoires reculés/denses ?
- La « prise de pouvoir » par les réseaux sociaux va conduire les autorités publiques à revoir les « règles du jeu » de leur gestion

Coûts induits

- Montée en puissance d'opérateurs globaux dans ce domaine (Google, Yahoo, ...)
- Qu'en est-il du financement ? ou de l'organisation publique pour régler les remontées des problèmes signalés ?
- Le citoyen est capable de juger précisément l'action publique. Il va donc être plus exigeant
- Qu'en est-il du modèle d'affaires ? Quelle valorisation des « apporteurs d'applications » et qu'en est-il de l'innovation si seuls les services de la Mairie sont mis à profit ?
- Qu'en est-il du modèle d'affaires lié à la participation d'une multitude d'acteurs (SNCF, RATP, Google, opérateurs téléphoniques...) : quelle valorisation des applications ? (marchés bifaces)
- Nécessité de « domestiquer » l'univers de la « data », de sorte à garantir « l'abordement », les croisements, la circulation et la valorisation
- Éventuels effets pervers : défi pour la puissance publique d'être en pointe dans la gestion des perturbations

Autres coûts

- Rôle de la collectivité, de l'institution : démocratiser, organiser les outils en mettant à disposition l'information aux personnes n'en ayant pas accès ou usage
- Les pouvoirs publics ont un retard énorme dans ce domaine. Ils n'arriveront pas à rattraper Google, Yahoo, ... -> ce domaine va donc leur échapper.

8.3.3 Modulation de l'accès au stationnement afin d'orienter l'évolution du parc et accompagner le développement des nouveaux usages des véhicules individuels

Le scénario envisagé

En 2020, la dépénalisation du stationnement et sa décentralisation au profit des collectivités est entérinée depuis l'acte *III* de la décentralisation. Au moins, la surveillance renforcée du stationnement sur voirie fait de celui-ci un outil efficace des politiques de déplacements. La ville de Paris met en œuvre des mesures permettant de moduler l'accès au stationnement de surface et son coût selon le type de véhicule afin d'orienter l'évolution du parc automobile en circulation sur son territoire. Le dispositif s'accompagne d'une croissance des recettes globales que la ville en tire.

Une tarification sociale est appliquée afin de ne pas discriminer les ménages les plus modestes tandis que le stationnement en ouvrage est modulé, dans l'objectif d'offrir une alternative plus attractive au stationnement résidentiel sur voirie. En revanche, le montant forfaitaire des amendes est augmenté de manière à être fortement dissuasif. L'offre sur voirie est prioritairement affectée aux services de mobilité (automobiles en libre-service, autopartage, recharge des véhicules électriques, vélos en libre-service). Le reste se distribue entre automobiles et 2RM.

La tarification du stationnement est dégressive en fonction de l'occupation au sol et des émissions de particules fines et de dioxyde d'azote (NO_2) dans le but d'avantager les petits véhicules peu émetteurs de particules fines.

Le stationnement résidentiel se rapproche également du tarif rotatif pour les véhicules polluants mais demeure équivalents au tarif actuel pour les véhicules considérés comme vertueux. Un système de vignette permet d'identifier dans quelle catégorie chaque véhicule se trouve, selon une nomenclature élaborée au niveau national (Ruffin *et al.*, 2013, extrait).

Les résultats de la simulation par CoBAYe

Bénéfices directs

- Moins de véhicules en recherche de parking
- Flexibilité de l'usage lié à l'amélioration de la rotation de la place de stationnement
- Flexibilité de l'usage des véhicules électriques et augmentation du rayon d'action
- Libérer de la place pour les autres modes
- Fluidifier et apaiser l'espace public
- Stationnement payant pour les 2RM => impact indirect sur la pollution
- La possession d'une voiture individuelle devient plus chère => renoncement à la voiture solo
- Effets de report modal imparfaits
- Dissuader par le coût le stationnement résidentiel sur la voie publique => renoncement des Parisiens à leur voiture
- Ceci participe à augmenter les contraintes sur l'automobile, donc à faire basculer sur d'autres modes, d'autres usages
- Décourager l'auto individuelle => diminution de la pollution
- Efficacité sur l'usage des véhicules polluants
- Favorise l'usage de véhicules peu polluants => amélioration de la qualité de l'air (sous réserve que le parc roulant d'ici 2020 n'ait pas grandement évolué...)
- Équité spatiale Paris-banlieue (différent de justice sociale mais TC sont plus efficaces depuis Paris)

Bénéfices indirects

- Renouvellement du parc
- Le lieu de stationnement est le lieu de la ressource, des transferts modaux et des aménités urbaines. Le stationnement est constitutif du tiers-lieu (centres dans de télétravail)

Bénéfices induits

- Réglementation d'un véhicule propre et économe à échelle européenne
- Hausse de valeur des véhicules hybrides et électriques
- Politique d'accompagnement pour les ménages aux revenus faibles

Autres bénéfices

- Irruption de technologies permettant la mesure et la transmission d'émissions polluantes en temps réel

Coûts directs

- Moins de déplacement banlieue vers Paris => discrimination pour les populations de banlieue
- Recherche de véhicules moins polluants, d'où une ségrégation sociale selon les revenus
- La suppression des places de stationnement résidentiel pose des problèmes d'acceptabilité! Quelles compensations ou services alternatifs en échange?
- L'efficacité de la circulation n'est pas l'enjeu du stationnement (sauf stationnement sauvage et sa répression), qui est l'accessibilité des lieux => avant tout proportionner la capacité multimodale de stationnement, aux activités locales

Coûts indirects

- Augmentation du nombre de petits véhicules (deux roues, trois roues)
- Saturation des TC (déjà saturés)
- Attention aux effets des rebonds
- Toute pression plus forte sur le stationnement des voitures va entraîner une accélération de l'usage des 2RM (plus difficiles à contrôler)
- Confusion des politiques publiques : plus d'usage (km), moins de coût (de stationnement)
- Discriminant pour les populations précaires qui ont des véhicules polluants
- Complexité de mise en œuvre et objectifs contradictoires potentiellement. Ex : diesel => réduction CO_2/km et augmentation NO_x
- Encouragement de la mobilité électrique (tarification + infrastructures + rebond par voirie libérée) donc la norme de forte mobilité liée à l'organisation spatio-temporelle des activités se maintient. => il faut une maîtrise globale des mobilités
- Les études d'évolution du parc automobile roulant montrent qu'en 2015 les véhicules les plus polluants seront aux normes Euro 5
- Cette politique de stationnement encouragera la circulation de ces véhicules et l'effet sur la qualité de l'air sera nul, voire négatif
- Les modulations d'accès et de coût ne doivent pas se faire uniquement (en premier lieu) sur le type de véhicule, mais sur les usages (TC, distance...). Très discriminant et inefficaces pour les particuliers, même avec une tarification sociale

Coûts induits

- Tarification électrique (gratuite) anti-sociale sauf si des véhicules électriques très abordables (voire aidés socialement) apparaissent sur le marché
- Pas de tarification sociale pour le stationnement, seulement une tarification écologique, couplée à une aide spéciale aux ménages modestes pour changer de véhicule (ex : auto électrique d'occasion)

Autres coûts

- Besoin d'aménagement de parking relais (tarification globale pour favoriser la multimodalité) dans certains lieux phares (pas uniquement en terminus de ligne de TC)
- Tarification « sociale » : attention au mélange des objectifs : corriger des effets du premier (baisse de la pollution) peut nuire au second

8.4 Les enseignements de cet exercice

En ce qui concerne l’outil d’aide à la décision CoBAYe, l’objectif de la tenue de l’atelier de prospective sur des scénarios de mobilité était de vérifier empiriquement et de visu :

- si cet outil était en mesure de rendre compte des effets d’une politique publique dans un cadre de prise de décision par une collectivité locale,
- à quel point l’outil tel que défini à cette époque était praticable,
- en quelle mesure il était nécessaire de procéder à des changements pour faciliter son appréhension par les différents acteurs présents
- et, de manière générale, quel était le retour des participants qui, avant cette demi-journée, ne connaissaient pas cette typologie d’identification des effets ni son processus d’utilisation.

Nous pensons que l’issue de l’exercice a été à la hauteur de ces différentes attentes, et le détail des enseignements tirés est discuté dans les paragraphes suivants. Un élément toutefois reste à déplorer - et il en sera aussi question dans les paragraphes qui suivent : le temps nous a manqué, d’une part, pour traiter de tous les scénarios envisagés et, d’autre part, pour procéder à une évaluation exhaustive de ces scénarios, en tenant compte de la méthode complète proposée dans l’outil CoBAYe.

La typologie d’identification des effets proposée lors de l’atelier (voir Figure 8.1) a été réalisée au bout de dix-huit mois de thèse, et a un peu évolué jusqu’à sa version actuelle aujourd’hui, comme présenté dans la section 4.6 et représenté en Figure 4.9. Toutefois, cette évolution découle justement en partie des enseignements tirés de cette demi-journée. En effet, l’identification des conséquences par les participants de chaque scénario de mobilité durable envisagé a amené à une description des effets possibles, comme présenté en section 8.3. Deux points notamment ont attiré notre attention.

1. Premièrement, très peu d’éléments ont été écrits dans la catégorie « Autres effets », et il nous semble que ceux qui y ont été inscrits auraient pu l’être dans la catégorie des « effets induits ». Cela sous-entend ainsi que les conséquences des participants à cet exercice, *a priori* pas au courant de la méthodologie CoBAYe avant l’exercice, ont trouvé, parmi les classes de la typologie présentée, suffisamment d’éléments pour rendre compte des caractéristiques des effets qu’ils ont souhaité y inscrire. Certes, douze participants ne constituent pas un

échantillon de taille suffisante, mais cela a conforté l'impression selon laquelle une telle typologie pouvait permettre l'identification d'effets de façon exhaustive, dans la mesure du possible.

2. En revanche, nous remarquons aussi qu'une partie des effets indirects se serait trouvée dans la catégorie « effets induits ». Par ailleurs, au cours de l'exercice, certains des participants avaient du mal à différencier les effets indirects des effets induits, évoquant pour eux tous deux le concept d'externalité en économie. L'élément « Atteints, mais non visés », qui nous semblait qualifier les effets indirects par rapport aux effets directs ne faisait pas ressortir le lien avec la dynamique de propagation des effets et, sous cette forme, cette expression aurait aussi pu qualifier les effets que l'on appelle « induits ».

Certes, l'intérêt de l'outil CoBAYe n'est pas de « classer » les différents effets, mais plutôt de les identifier, de les caractériser, et éventuellement de les ordonner au moyen d'une valorisation monétaire : par conséquent, écrire à tort qu'un effet indirect se trouve dans la catégorie des « effets induits » n'a pas de conséquences opérationnelles importantes, et nous aurions pu nous satisfaire de cette typologie puisqu'elle atteint son objectif : identifier le maximum d'effets. Cependant, dans le but d'être plus rigoureux d'une part, et pour faciliter la compréhension et l'identification des effets pour les futurs acteurs économiques qui utiliseraient l'outil CoBAYe, d'autre part, nous avons préféré changer (à la marge) les caractérisations des trois types d'effets, comme présentés dans la Figure 4.9. Nous pensons ainsi aujourd'hui que les caractérisations telles que présentées dans ce tableau sont plus faciles d'accès et ont permis l'identification des effets de la mise en œuvre des politiques publiques discutées dans les Chapitres 9 et 10.

Cet exercice nous a également montré que les participants avaient également une approche dynamique dans leur appréhension des conséquences des scénarios de politique de mobilité durable envisagés. Effectivement, que ce soit dans la première partie de l'identification des effets que dans la seconde partie, qui suivait le débat, les éléments recueillis témoignent assurément d'une volonté de ne pas uniquement prendre en considération des effets immédiats et unisectoriels, mais plutôt des effets dus au développement d'autres activités, comme nous avons pu le constater dans la section 8.3. En particulier, le débat a procuré un échange nécessaire justement entre les différents participants :

- d’une part, pour leur permettre de transmettre leur point de vue dûment explicité autrement que par quelques lignes écrites sur un « *post-it* »
- et, d’autre part, parce que chaque participant a alors pu se représenter une nouvelle configuration économique du territoire dans laquelle seraient susceptibles d’émerger d’autres politiques publiques ou d’autres stratégies privées, et grâce auxquelles surgiraient de nouveaux comportements de la part des acteurs concernés (voire des nouveaux acteurs eux-mêmes).

En revanche, le format sous lequel les participants étaient en mesure de s’exprimer sur ces effets (les effets induits) ne nous a pas semblé idéal *a posteriori*, et une autre approche, plus explicite, nous a paru nécessaire. Nous avons alors entrepris de définir ces changements de configuration économique du territoire par la notion de « structure topo-économique » (voir la section 6.2.3) et de les expliciter dans une approche dynamique, comme il est question dans la Figure 7.2 (aussi présentée au Chapitre 7). Dans cette figure, nous explicitons bien l’idée selon laquelle les effets d’une période \mathbb{P}_i affectent la structure topo-économique du territoire à \mathbb{P}_i en la changeant : nous obtenons donc une nouvelle structure topo-économique de ce même territoire en \mathbb{P}_{i+1} . Ainsi, en se plaçant dans les conditions d’une même structure topo-économique, les utilisateurs de l’outil CoBAYe - analystes, décideurs, praticiens et chercheurs - auront tous la même configuration économique en tête, et nous pensons que cela permettra de faciliter une discussion concertée sur la propagation des effets de la politique publique initiale.

Les résultats présentés à la section 8.3 ne présentent toutefois pas d’éléments justifiant une prise en considération de l’incertitude. En effet, le temps d’une demi-journée de quatre heures pour traiter cinq scénarios de mobilité⁶ n’était pas suffisant pour traiter également de l’incertitude dans les dispositions prévues par l’outil d’aide à la décision CoBAYe (voir le Chapitre 5). Il aurait fallu, à chaque effet identifié, proposer la détermination concertée d’un horizon temporel d’évaluation, réfléchi et justifié et, en fonction des interactions entre le décideur et les différents acteurs, eux-mêmes soumis à des rationalités différentes, trouver un horizon temporel qui fait, idéalement, consensus. Cependant, au cours du débat qui séparait les deux laps de temps d’écriture des effets sur « *post-it* », il nous a semblé que la teneur des discussions sur la probabilité d’occurrence de

6. Finalement, seuls trois des cinq scénarios sont présentés dans ce chapitre, étant donné qu’il s’agit de ceux sur lesquels le débat a duré plus longtemps.

certaines effets pouvait très bien se marier avec une réflexion sur l'horizon temporel d'évaluation, si cette « règle du jeu » avait également été formulée. Par conséquent, au vu du déroulement de l'atelier de prospective, les échanges ont été très riches et nourris de la part de chacun des participants sur l'identification des effets et leur probabilité d'occurrence (même qualitative), mais c'est malheureusement également la raison pour laquelle nous déplorons le manque de temps qui nous a fait privilégier l'identification des effets pour plusieurs scénarios plutôt que la prise en considération de l'incertitude pour ceux que nous aurions eu le temps de traiter. Cependant, la teneur des débats est suffisante pour que nous restions convaincus de la faisabilité pratique d'une réflexion concertée qui permettrait l'identification d'un horizon temporel d'évaluation pour chaque effet.

Un autre élément présent dans la méthodologie d'évaluation de l'outil CoBAYe est la valorisation monétaire de chaque effet dans la mesure du possible. Deux raisons permettent d'expliquer cette absence :

- d'une part quatre heures ne suffisent malheureusement pas à traiter cinq scénarios de mobilité durable dans leur intégralité et il a fallu procéder à des choix relatifs aux éléments qui nous étaient les plus nécessaires de la part de la concertation des participants eu égard au temps imparti ;
- d'autre part, la valorisation monétaire des effets identifiés n'était en fin de compte qu'un objectif secondaire, voire tertiaire de l'exercice. En ce qui concerne les attentes des organisateurs, l'intérêt mutuel était de tester la praticabilité de l'utilisation de l'outil CoBAYe, mais pas forcément d'obtenir un résultat d'évaluation de ces scénarios de politique publique en fin de journée. Bien sûr, dans le cas où ces scénarios auraient été mobilisés par les décideurs au cours de leur programme d'aménagement de la Ville, il aurait peut-être été utile, voire même nécessaire, de procéder à cette valorisation monétaire, mais tel n'a pas été le cas.

Toutefois, nous ne pensons pas que l'étape de valorisation monétaire constitue en soi une étape inéluctable, ou même importante du processus d'évaluation selon l'outil d'aide à la décision CoBAYe. Certes, il s'agit d'une des étapes qui ont été présentées au Chapitre 7 mais, à notre avis, l'analyse selon CoBAYe ne devrait pas être jugée uniquement en fonction des résultats

chiffrés obtenus à l'issue du processus. Bien sûr, par rapport à une évaluation axée sur l'efficacité ou même sur l'efficacité de la politique publique, obtenir une valeur monétaire peut sembler nécessaire. Néanmoins, nous sommes d'avis, d'une part, que l'aide à la décision selon CoBAYe ne doit pas se résumer à la comparaison de coûts et de bénéfices chiffrés et, d'autre part, que l'étape de valorisation monétaire doit rester optionnelle. Plusieurs arguments étayent cette impression :

1. D'une part, comme présenté à la section 2.5, l'étape de valorisation monétaire de biens et de services non-marchands en elle-même est au cœur de nombreux débats et fait encore l'objet de multiples critiques dans la littérature sur l'analyse coûts-bénéfices par exemple. Par conséquent, les résultats obtenus grâce à cette méthode peuvent créer plus de biais dans leur interprétation que s'il n'avait pas été question d'attribuer une valeur monétaire aux effets. Notre inquiétude quant à l'utilisation de cette technique tient donc principalement aux méthodes aujourd'hui disponibles pour obtenir une valeur monétaire dans la pratique.
2. D'autre part, nous pensons qu'un outil d'aide à la décision ne doit pas nécessairement avoir recours à des valeurs monétaires, ni même chiffrées. En effet, certains comportements et actions identifiés au moyen de la typologie de la méthode CoBAYe sont qualitatifs par nature, et ne peuvent pas toujours être exprimés de manière quantitative, et encore moins en termes monétaires. Pourtant, ces effets-là nous paraissent aussi importants que ceux pour lesquels il est possible de trouver une valeur monétaire, voire même parfois plus importants. Nous sommes bien sûr conscients qu'en adoptant cette position, nous nous inscrivons à l'encontre de nombreux analystes coûts-bénéfices, pour lesquels un effet non quantifiable peut amener à des conclusions trop aléatoires et doit par conséquent être proscrit dans l'analyse (voir le guide de Eijgenraam *et al.* (2000), par exemple). Pourtant, sous l'hypothèse de rationalité procédurale du décideur, nous sommes au contraire d'avis que celui-ci cherche à obtenir un maximum d'informations avant de procéder à un choix et conduire une politique publique. Or les comportements et les stratégies publiques et privées mises en lumière au moyen de l'outil CoBAYe permettent justement de fournir au décideur une partie des informations dont il a besoin et ce, même s'il n'est pas possible de les transcrire en éléments quantitatifs ou en termes monétaires. Le décideur peut en effet anticiper des choix en fonction de la connaissance des comportements d'autres acteurs économiques - eux-mêmes soumis à une rationalité limitée. Au contraire même, il est à notre

avis plus judicieux de fournir au décideur un maximum d'informations, même qualitatives, plutôt que d'effectuer un *tri* au préalable de ces informations en fonction de la disponibilité des méthodes de valorisation monétaire. En outre, une fois au courant des informations retirées de l'outil CoBAYe, le décideur peut lui-même choisir de cibler un (ou plusieurs) effet(s) en particulier et de souhaiter qu'une analyse plus précise s'intéresse à l'obtention de plus de renseignements, quantitatifs ou monétaires, au sujet de l'effet (ou des effets) qui a (ont) attiré l'attention du décideur : le choix de ne pas exclure certains effets auxquels il est difficile en prime abord de trouver une valeur monétaire est donc essentiel dans ce dernier cas. Enfin, toujours en conservant l'hypothèse de rationalité procédurale à laquelle est soumis le décideur (au même titre que les autres agents économiques), l'outil CoBAYe se revendique ainsi être un outil d'aide à la décision dans le sens où l'obtention d'informations relatives à l'évolution des comportements ou des stratégies des différents acteurs concernés permet au décideur de se munir de plus d'informations et d'être, par conséquent, en mesure de prendre une décision qui lui paraît plus pertinente qu'en l'absence des résultats de l'outil.

Enfin, le dernier enseignement important tiré de cet exercice concerne l'organisation même du processus CoBAYe. Un endroit physique où chacun peut exposer et discuter des effets qu'il pressent ou des comportements qu'il serait susceptible d'avoir en réaction à la mise en place d'une politique publique est bienvenu, même si cet exercice peut aussi se faire à distance (par audio-ou vidéoconférence par exemple) - quoique probablement moins efficacement. En particulier, une contrainte qui est probablement inévitable si on souhaite avoir l'avis de tous les acteurs concernés de façon concertée est la réservation d'une plage temporelle sans doute d'une demi-journée complète au minimum pour une politique à évaluer. Cette condition peut certes sembler plus ardue dans un contexte opérationnel, puisque les emplois du temps de chacun sont tous très contraints, mais elle n'est pas impossible, loin s'en faut. D'expérience, de telles réunions se font fréquemment, et surtout lorsque chaque acteur a un intérêt à faire valoir, en témoignent les ateliers de travail sur la faisabilité des Zones d'Actions Prioritaires pour l'Air de mars 2011 à juillet 2012 ou plus récemment ceux au sujet de la réduction de moitié des véhicules de livraison au diesel pour le dernier kilomètre pour ne citer que ces deux exemples de politiques environnementales parisiennes récentes. Il n'en reste pas moins qu'une évaluation riche, nourrie et précise demande du temps, et que l'apport supplémentaire de chaque acteur entraîne forcément un temps de

parole pour exposer (à l'oral ou par écrit) des comportements anticipés, pour discuter et mettre en opposition des points de vue et aussi pour réfléchir à un horizon temporel d'évaluation par un processus concerté. Nous nous sommes aussi interrogés sur la nécessité du rôle d'observateur dans une telle réunion. Dans la perspective de la simulation, ce rôle nous semblait pertinent puisque c'est ce recul qui nous a permis d'améliorer l'outil CoBAYe proposé il y a dix-huit mois. Toutefois, un décideur ou un analyste peut également souhaiter la présence de personnes extérieures au jeu décisionnel concerté pour lui permettre d'avoir un autre regard lors de sa prise de décision ultérieure : nous proposons donc de laisser le décideur et l'analyste choisir de la présence ou non d'un observateur, en fonction de leurs besoins.

8.5 Conclusion

Ce chapitre a donc montré que l'utilisation de l'outil CoBAYe dans les dispositions préconisées au Chapitre 7 est possible et qu'elle engendre même des idées, discussions et débats nourris et enrichissants pour l'analyste, le décideur et également les autres acteurs économiques concernés et parties prenantes de cet exercice. L'atelier de prospective sur des scénarios de mobilité durable, organisé par l'Agence de la Mobilité, agence de prospective des services techniques de la Ville de Paris, a ainsi permis de mettre en évidence qu'un processus concerté entre agents économiques multidisciplinaires et aux points de vue divers, tant académiques que praticiens, publics ou privés, permet d'aboutir à un résultat qui prend en considération les idées de tous, utile pour le décideur pour anticiper des futurs choix et pour être en mesure de décider la mise en œuvre d'une politique qui tient compte des contraintes de tous les acteurs concernés.

Bien qu'il a permis de tester l'outil CoBAYe, l'atelier de prospective a également suscité des évolutions et des améliorations dans le « mode d'emploi » de cet outil d'aide à la décision. En effet, grâce aux retours des participants et aux enseignements tirés de cet exercice il y a maintenant dix-huit mois, nous avons choisi de modifier légèrement certaines caractéristiques de l'outil pour qu'il soit plus facilement utilisable par de futurs participants. En particulier, les notions de *structure topo-économique du territoire* et d'*incertitude* ont été introduites de façon plus explicite dans le « guide » nécessaire à l'utilisation de l'outil (voir le Chapitre 7). Enfin, c'est par conséquent muni de cette nouvelle méthode de l'outil d'aide à la décision CoBAYe que nous

avons entrepris de simuler les évaluations *ex-ante* de deux politiques publiques environnementales agissant sur la mobilité, et qui seront détaillées aux Chapitres 9 et 10.

Chapitre 9

Évaluation par CoBAYe de la politique de mise en place d'un réseau de bornes de recharge électrique à Paris

9.1 Introduction

Lors de la communication du Maire de Paris sur l'environnement et la qualité de l'air, le Conseil de Paris a voté, en novembre 2012, des mesures destinées à la fois à empêcher les véhicules polluants d'entrer dans Paris ainsi qu'à promouvoir l'utilisation de véhicules propres, en particulier les véhicules électriques (Conseil de Paris, 2012). Un an plus tard, le conseil municipal a complété ces mesures en votant pour la mise en œuvre d'un réseau d'infrastructure de bornes de recharge pour véhicules électriques dans la capitale française, destiné à la fois aux usagers de la route privés et professionnels (Conseil de Paris, 2013), afin de les encourager à utiliser un véhicule électrique plutôt qu'un véhicule thermique. Dans le but de remplir cet objectif, la Ville de Paris souhaite mettre en place entre 450 et 700 bornes de recharge à l'intérieur des frontières administratives de la ville, opérationnelles à compter du début de l'année 2015 : 300 bornes créées sur le réseau actuel du système de véhicules électriques en autopartage *Autolib'*, pour

le rendre plus dense, et entre 150 et 400 autres bornes doivent être déployées sur certains des emplacements actuels des zones de livraison de la ville et des espaces publics de la voirie. Leur nombre exact dépendra du choix de la technologie privilégiée des bornes de recharge : accélérée, rapide ou lente, et compte tenu de leur coût respectif.

Dans ce chapitre, nous présentons une brève approche d'évaluation économique en utilisant l'analyse coûts-bénéfices sociale traditionnelle, et nous proposons par la suite de montrer en quoi cette CBA pourrait être améliorée par la mise en œuvre de l'outil d'aide à décision CoBAYe, tel que décrit dans les chapitres précédents. Ainsi, après avoir brièvement rappelé les hypothèses retenues pour les scénarios pris (section 9.1.3), nous présentons successivement les résultats de l'analyse dynamique sous la forme d'une frise représentant la propagation des effets identifiés (section 9.2), et les explications qui l'accompagnent (section 9.3), pour enfin discuter des résultats et des interprétations possibles (section 9.4).

Pour terminer cette introduction, nous tenons à attirer l'attention du lecteur sur le fait que la construction du scénario de projet et des différentes structures topo-économiques du territoire, manifestées par les périodes \mathbb{P}_0 à \mathbb{P}_3 (en particulier dans les sections 9.2 et 9.3), ne reflètent pas entièrement les dispositions préconisées au Chapitre 7. En effet, comme dans le cas du Chapitre 10, les STE définies ne sont pas la conséquence d'un processus de concertation entre un décideur et des acteurs concernés par la politique de création du réseau de bornes de recharge, mais elles ont plutôt été créées à partir d'hypothèses construites par les auteurs de (Proag et Bainée, 2014a) et (Proag et Bainée, 2014b). Par conséquent, le but des Chapitres d'application 9 et 10 est d'illustrer les résultats possibles de l'outil CoBAYe à travers des exemples : en tant que tels, c'est-à-dire sans processus de concertation envisageant des acteurs concernés par la politique, ces Chapitres ne peuvent pas prétendre à une analyse fiable des anticipations qui auraient pu émaner de ces acteurs au cours d'une mise en situation réelle du processus CoBAYe. Les résultats et discussions de ces chapitres doivent donc être pris à titre d'illustration.

9.1.1 Le scénario de référence

Un scénario de référence est un scénario qui représente ce qui se passerait si aucune politique n'avait été mise en œuvre (Snell, 1997). Dans cet article, le scénario de référence choisi suit les

recommandations fixées par la région Île-de-France dans les domaines des transports et de la qualité de l'air en ville, à travers la déclinaison parisienne du « Plan de Déplacements Urbains d'Île-de-France (PDUIF) », le programme de mobilité durable en ville, voté par le Conseil Régional d'Île-de-France en juin 2014 et publié par le « Syndicat des Transports en Île-de-France (STIF) », l'agence chargée de l'organisation des transports publics dans la région francilienne (STIF, 2012). Les principales mesures de ce document relatives au scénario de référence sont les suivantes :

- Construire une ville plus favorable aux déplacements à pied, à vélo et en transports collectifs (« Défi 1 »);
- Rendre les transports collectifs plus attractifs (« Défi 2 »);
- Agir sur les conditions d'usage des modes individuels motorisés (« Défi 5 »), c'est-à-dire limiter les nuisances dues à l'usage des modes individuels motorisés, améliorer la sécurité routière et limiter l'usage de la voiture individuelle, dans le cas où des alternatives existent, en agissant sur les leviers disponibles (stationnement, partage de la voirie plus favorable aux autres modes).

En particulier, en ce qui concerne la ville de Paris, le scénario de référence que nous choisissons est donc la poursuite des tendances actuelles dans tous les secteurs, et en particulier dans le secteur des transports. Par conséquent, notre scénario de référence ne s'attend pas à ce que des véhicules électriques viennent remplacer les véhicules thermiques sur la voie publique parisienne.

9.1.2 Le scénario de projet

Nous proposons comme approche une évaluation *ex-ante* de la politique publique, puisque celle-ci n'a pas encore été mise en œuvre au moment de la rédaction de ce manuscrit, et que certains éléments sont encore en cours de discussion au sein des services techniques de la Mairie de Paris. Par exemple, le choix de la construction de bornes de recharge accélérée ou lente n'a pas encore opéré. Par conséquent, le scénario de projet que nous proposons d'évaluer dans ce chapitre est la combinaison simultanée des deux actions suivantes :

- (a) Le Groupe Bolloré densifie son réseau actuel de véhicules électriques en libre-service *Autolib'*, à travers la création de 300 nouveaux points de recharge sur le réseau existant, c'est-à-dire sur la partie de la voirie concédée à l'entrepreneur. Cependant, ces nouvelles bornes de recharge

sont disponibles pour des véhicules publics ou privés et ne sont pas réservés aux seuls abonnés du réseau *Autolib'*.

- (b) La Ville de Paris crée 150 nouvelles bornes de recharge accélérée qu'elle fait construire sur quelques-unes des zones de livraison partagées de la voirie publique sur le principe actuel : ces zones sont réservées aux professionnels (principalement les entreprises de livraison) entre 7 heures et 19 heures, et peuvent servir de lieux de stationnement pour des véhicules particuliers entre 19 heures et 7 heures le lendemain matin. Avec la mise en œuvre de la politique, ces zones seraient donc réservées aux véhicules électriques selon la même distinction horaire.

Dans les deux cas, les conditions tarifaires d'utilisation sont transparentes et fixées à 1 euro par heure pour un véhicule qui est en charge, ne dépassant pas 4 euros (c'est-à-dire que rester plus de quatre heures serait facturé au maximum 4 euros).

9.1.3 Hypothèses retenues

Nous pensons que la politique de mise en place d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques pourrait induire trois types de comportement :

1. **Le remplacement d'un nombre x de véhicules thermiques par des véhicules électriques** car la mise en place d'un réseau d'infrastructure de bornes de recharge agirait comme une forte incitation du gouvernement local pour attirer et accueillir des véhicules électriques sur son territoire. Le chiffre x peut être déterminé en fonction du nombre de véhicules qui pourraient utiliser les 450 (ou 700) nouvelles bornes de recharge. Plusieurs scénarios peuvent être envisagés :
 - x correspondant au nombre de bornes ;
 - x inférieur au nombre de bornes, sur le principe du système de vélos en libre-service *Vélib'*, c'est-à-dire un système dans lequel le nombre de bornes (ou de stations) est expressément supérieur au nombre de véhicules (ou de voitures), pour faciliter l'accès à l'infrastructure pour le véhicule. Le système *Vélib'* est caractérisé par la présence d'un régulateur, qui choisit et oriente le nombre de stations par rapport au nombre de vélos. Dans le cas des bornes et des véhicules électriques en revanche, l'offre de recharge et la demande ne sont pas régulées et ce sont les lois du marché qui s'appliqueraient, en

ce sens qu'un nombre x inférieur au nombre de bornes peut, au contraire, attirer des acheteurs cherchant la disponibilité de la recharge.

- Enfin, x supérieur au nombre de bornes. Dans ce cas, l'argumentation reflète l'aversion au risque des utilisateurs de véhicules électriques, qui craignent de ne pas être en mesure de le recharger au moment souhaité. L'existence de la borne agit donc comme un élément rassurant : même s'ils ne l'utiliseront que très rarement, car ils ont finalement opté pour une recharge de leur véhicule à domicile ou à leur emplacement de travail, ils consentiront à acheter et à utiliser un véhicule électrique, ayant la garantie de ne jamais être en panne. Par ailleurs, la durée d'une recharge sur une borne rapide avoisinant les deux heures pour un appoint, on peut supposer qu'au moins deux à trois véhicules peuvent utiliser une borne quotidiennement. De surcroît, le souhait des pouvoirs publics - parisiens et nationaux - semble être de s'inscrire dans une dynamique de subventionnement à l'achat des véhicules électriques, ce qui corrobore cette hypothèse.

C'est donc pour ces raisons que nous avons privilégié l'hypothèse d'un scénario dans lequel le nombre de véhicules électriques utilisés x est supérieur à celui des bornes de recharge.

2. **Un ajout d'un nombre y de véhicules électriques à la flotte existante.** Dans ce cas, nous supposons également que la mise en œuvre d'un réseau d'infrastructure de bornes de recharge agirait comme une forte incitation de la collectivité locale pour accueillir des véhicules électriques sur son territoire. Nous nous attendons donc à une augmentation y du nombre de véhicules électriques achetés, mais pas à une réduction du nombre de véhicules thermiques, bien que le rythme de leur usage est affecté. En effet, sous cette hypothèse, les agents économiques, aussi bien professionnels que particuliers, achètent un véhicule électrique mais ne vendent pas leur véhicule thermique car ils souhaitent en faire usage pour des trajets pour lesquels l'autonomie du véhicule électrique n'est pas garantie ; il s'agirait typiquement de trajets saisonniers ou de départs en week-ends ou en vacances. Un deuxième type d'agents peut expliquer cette hypothèse : ce sont ceux qui ne disposent pas aujourd'hui d'un véhicule, mais qui ont maintenant la possibilité d'en acheter et doivent faire leur choix face à une offre plus diversifiée (véhicule thermique ou électrique). Dans ce cas, l'acheteur ne serait propriétaire que d'un véhicule mais, pour la société et les usagers de la route dans leur ensemble, une nouvelle flotte de véhicules électriques viendrait s'ajouter

à la flotte existante de véhicules. Cette hypothèse ne correspond pas à la politique actuelle du conseil municipal (dont un des objectifs est de réduire la place de la voiture à Paris), mais pourrait quand même se produire.

3. Enfin, **une réduction z du nombre de véhicules thermiques circulant en ville**. A cause de la mise en application de la politique, certains habitants n'ont plus de place de parking. Ainsi, au lieu de changer de véhicule (pour des raisons financières ou des raisons affectives - certains aiment le bruit de la voiture, ou la marque...), certains agents peuvent opter pour ne plus se déplacer ou ne plus se garer à Paris, mais plutôt privilégier les alentours. Toutefois, cette décision peut engendrer d'autres effets entremêlés, tels que des coûts de transaction sur les habitudes (changement de marché, boulangerie, banque, crèches, écoles ...), mais aussi des changements dans le réseau social (voisins, amis des enfants, ...) et aussi pour le gouvernement local (impôts locaux), par exemple.

Par ailleurs, les trois hypothèses précédentes peuvent évidemment être mélangées : par exemple, il est possible d'envisager une situation dans laquelle à la fois des acteurs économiques envisagent le véhicule électrique comme un remplacement de son pendant thermique, alors que d'autres souhaitent conserver les deux. Nous avons choisi pour les besoins de l'évaluation et, en particulier, de la valorisation monétaire, deux scénarios : un scénario de « limite inférieure » et un scénario de « limite supérieure », qui seront tous deux explicités dans la section 9.4.3. Toutefois, dans les deux cas, le parti pris a été d'envisager x , le nombre de véhicules électriques achetés, supérieur au nombre de bornes créées. Cette hypothèse corrobore le souhait de la Ville de Paris de multiplier les usagers possibles d'une borne (professionnels de jour, particuliers de nuit, incitation tarifaire probable à long terme pour ne pas « réserver » sa place de stationnement à une borne de recharge...).

9.1.4 Résultats attendus par une analyse coûts-bénéfices

Pour réaliser cette analyse coûts-bénéfices, nous nous sommes reposés sur la typologie définie par Eijgenraam *et al.* (2000), dans le rapport publié en 2000 par le bureau néerlandais pour l'analyse de la politique économique, pour le compte du ministère néerlandais des Transports, des Travaux

publics et de la Gestion de l'Eau et de celui des Affaires économiques, dont l'objectif conjoint était de normaliser la pratique de l'analyse coûts-bénéfices aux Pays-Bas (voir section 3.3.1).

Ainsi, en suivant ces directives, l'évaluation du projet conduirait à l'identification des effets suivants :

1. Pour les coûts :

- les coûts de mise en œuvre (300 bornes de charge supplémentaires) sur le réseau *Autolib'* actuel, qui incombent au Groupe Bolloré ;
- les coûts de mise en œuvre (150 points de charge rapide sur la voirie publique) qui incombent à la Ville de Paris ;
- les coûts d'entretien et de conformité pour la Ville de Paris ;
- la perte d'utilité pour les utilisateurs de véhicules thermiques, qui ne peuvent plus utiliser la place de stationnement dorénavant réservée aux possesseurs ou usagers de véhicules électriques ;
- les coûts d'achat des usagers, s'ils choisissent d'acheter un véhicule électrique pour remplacer leur véhicule thermique ;
- les prix de l'immobilier peuvent augmenter à proximité des bornes de recharge (effets indirects, tels que définis par Eijgenraam *et al.* (2000)) ;

2. et pour les bénéfices :

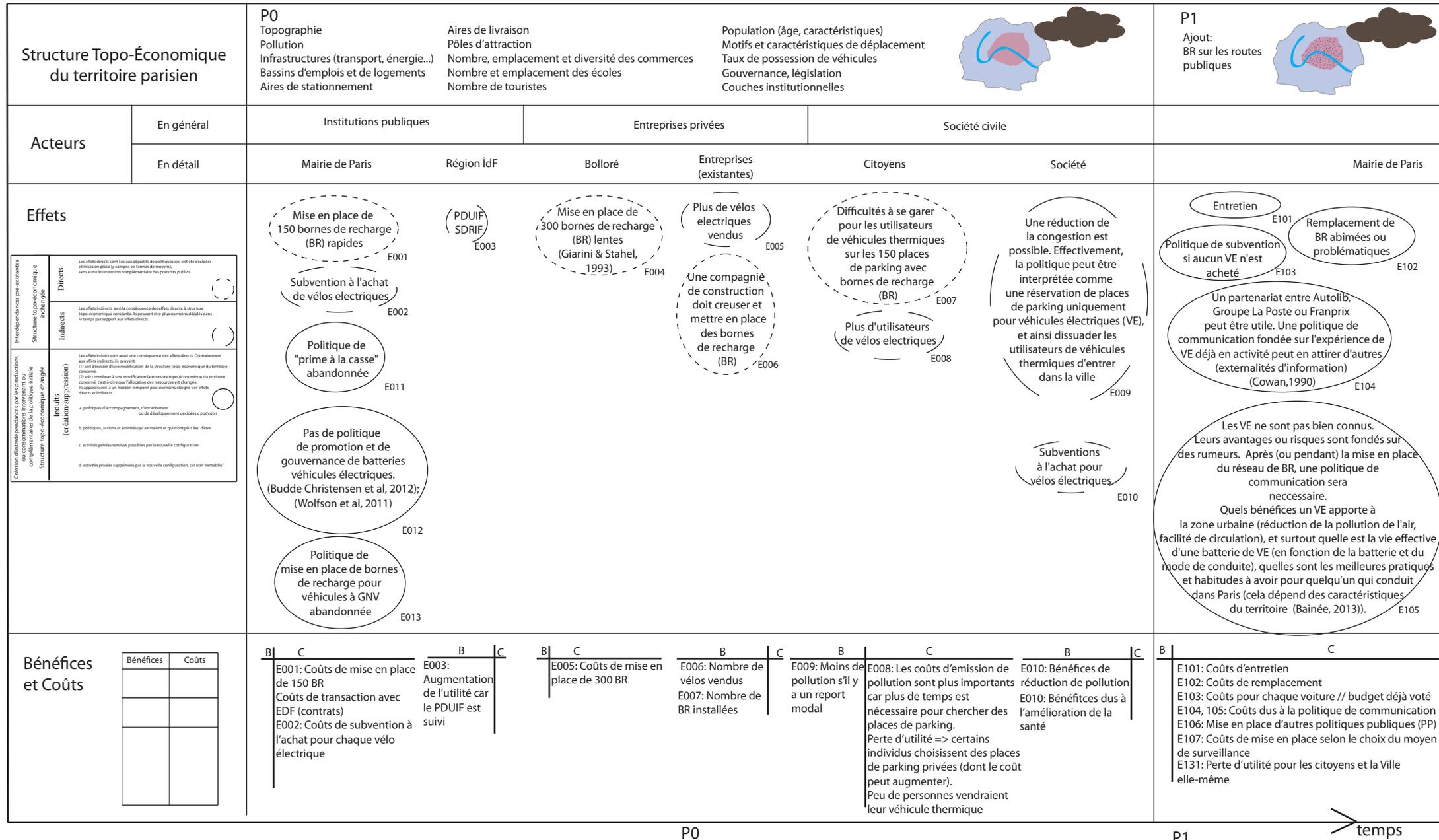
- l'entreprise rémunérée pour construire les bornes de recharge bénéficie d'une activité accrue¹ ;
- les constructeurs automobiles vendent plus de véhicules électriques (cependant, si les utilisateurs remplacent leur véhicule thermique par un électrique, nous devrions considérer comme un coût d'opportunité le fait que les producteurs automobiles ne pourraient donc pas vendre des véhicules thermiques) ;
- si ce remplacement est effectué, il existe des bénéfices sur la santé publique dus à une réduction des émissions locales de PM_{10} et de NO_2 par exemple.

1. Dans une analyse coûts-bénéfices sociale, ce bénéfice serait directement compensé par le coût imputé aux commanditaires, et ne serait par conséquent pas visible.

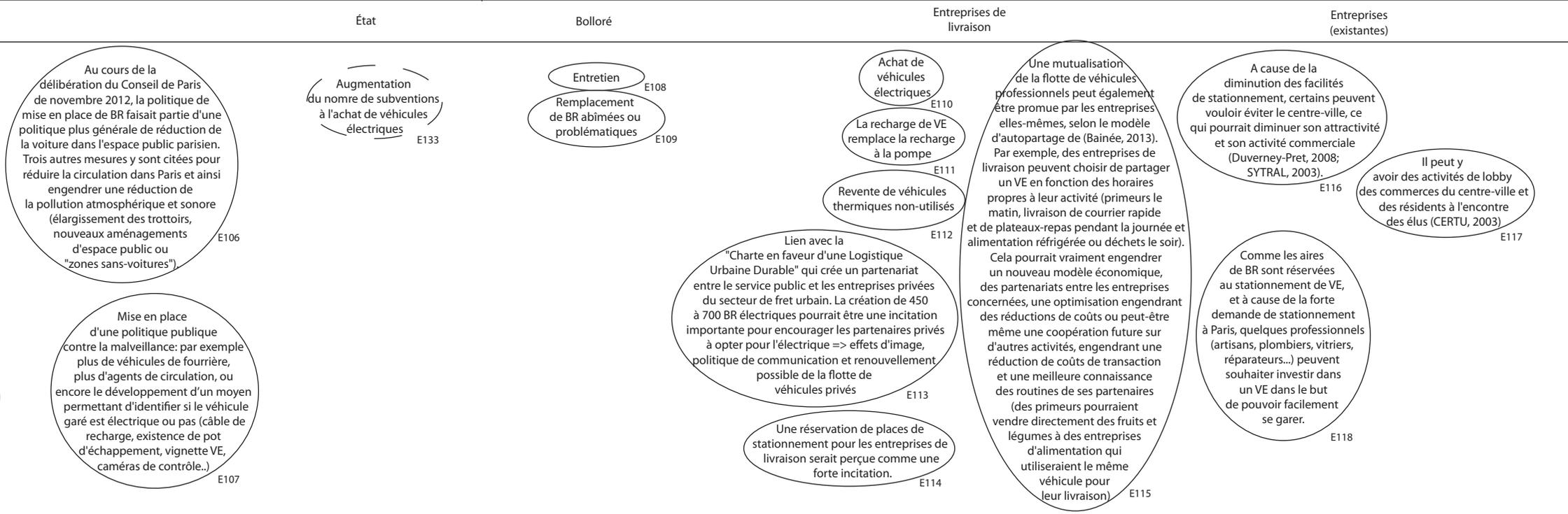
9.2 L'analyse dynamique : une « frise » des effets de CoBAYe

Cette section est représentée par la frise d'identification des effets suivante.

CoBAYe: évaluation de la mise en place du réseau de bornes de recharge (BR) pour véhicules électriques (VE) à Paris



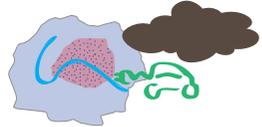
Institutions publiques	Entreprises privées			
------------------------	---------------------	--	--	--



B C	B C	B C	B C	B C	B C	
E106: Mise en place d'autres politiques publiques (PP) E107: Coûts de mise en place selon le choix du moyen de surveillance	E133: Coûts de subvention pour chaque VE	E108: Coûts d'entretien E109: Coûts de remplacement	E112: Recettes dues à la vente de voitures E115: Coopération entre entreprises, réduction (ou augmentation, à cause de mutualisation) des coûts de transaction, meilleure optimisation des routes, réduction d'émission de polluants, amélioration de la santé	E110, 113, 114: Coûts d'achat (bénéfiques pour les constructions) E111: Coûts de recharge (bénéfiques pour la Mairie ou EDF)	E118: Gain d'utilité pour les professionnels car ils trouvent facilement des places de parking	E116: Perte d'utilité. Moins de recettes E117: Perte de temps E118: Perte d'utilité pour autres professionnels (livreurs) qui ne pourront pas trouver d'endroit pour recharger leur VE E135: Coûts d'achat de VE

Entreprises privées					Société civile	
Entreprises nouvellement créées		Industrie automobile (française)	Industrie automobile (étrangère)	Utilisateurs de VE	Utilisateurs de véhicules thermiques	Société

P2
Ajout:
Plus de VE à Paris
Infrastructure de BR est utile



Entreprises nouvellement créées		Industrie automobile (française)	Industrie automobile (étrangère)	Utilisateurs de VE	Utilisateurs de véhicules thermiques	Société
---------------------------------	--	----------------------------------	----------------------------------	--------------------	--------------------------------------	---------

Institutions publiques	
Mairie de Paris ou État	Mairie de Paris

La mesure peut même mener au développement de l'autopartage et du covoiturage E119

Création de partenariats industriels (ex Renault-Bolloré créent des voitures à trois places) E120

Plus de VE vendus E121

Moins de véhicules thermiques vendus E122

Développement d'une nouvelle ligne de production de VE E123

Plus de VE vendus E124

Moins de véhicules thermiques vendus E125

Développement d'une nouvelle ligne de production de VE E126

Achat de VE E127

La recharge de VE remplace la recharge à la pompe E128

Revente de véhicules thermiques E129

Subventions à l'achat de véhicules électriques reçues E134

Emergence de comportements dévoyants (des utilisateurs de véhicules thermiques peuvent utiliser les parkings-BR même si c'est interdit) E130

Effets sur le logement, si certains Parisiens décident de quitter la ville dans le but de trouver un logement muni (ou à un prix inférieur) d'un parking pour leur véhicule thermique E131

Si la politique est perçue comme une réservation de places de stationnement pour des VE, certains Parisiens peuvent choisir de quitter Paris à cause de l'augmentation croissante des difficultés de circulation et de stationnement. Cela peut avoir des conséquences diverses: logement, crèches, écoles, réseaux sociaux, activités culturelles, les commerces qui accueillent ces individus peuvent subir des pertes (dans le cas où les "partants" ne sont pas immédiatement remplacés), modification de l'espace public parce que la population vivant dans cette région a changé, conséquences politiques (votes)... E132

Politique d'incitation pour les bailleurs sociaux à mettre en place des BR en structure (incitation fiscale?) E201

Risque d'incendie si un VE brûle (Venturi ou Groupe LaPoste) => une nouvelle loi doit peut être être promulguée, et plus de précautions doivent peut-être être prises. E202

Mise en place d'un réseau plus dense de BR, car la demande de BR dépasse l'offre actuelle E203

En fonction des conditions d'utilisation des BR, certains acteurs économiques (citoyens ou professionnels) peuvent avoir la rationalité d'acheter un VE dans le but de réserver une place de stationnement plutôt que pour une recharge. Cela peut engendrer (exemple d'Oslo) une nouvelle régulation (décret municipal ou arrêté ministériel) du gouvernement local (ou national) pour rendre les BR accessibles à un nombre plus important d'utilisateurs; même si cela dépend de la rationalité du décideur: souhaite-t-il optimiser le nombre de personnes qui utilisent une BR? ou serait-il satisfait si un véhicule peut toujours être vu par le pulic en état de recharge, quelle que soit l'identité de son propriétaire? E204

Les utilisateurs de VE peuvent demander à utiliser les bus et taxis pour leur déplacement E205

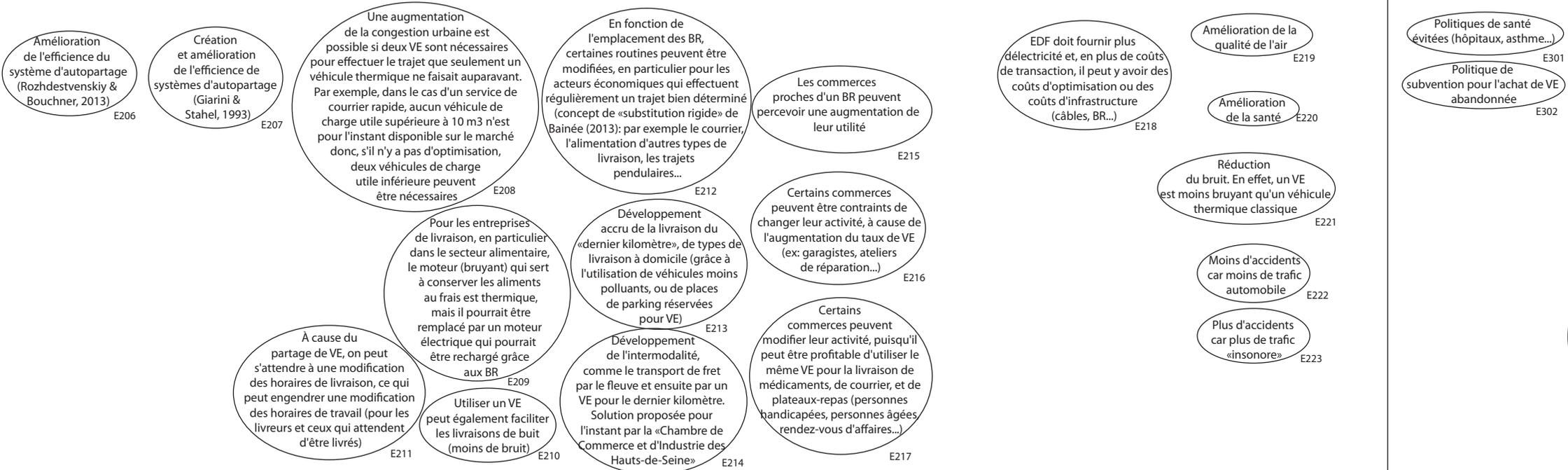
B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
E119, 120: Développement économique grâce à la création de telles entreprises et réduction de la pollution atmosphérique		E121: Recettes grâce aux VE vendus	E122: Moins de recettes car moins de véhicules thermiques vendus	E124: Recettes grâce aux VE vendus	E125: Moins de recettes car moins de véhicules thermiques vendus	E129: Recettes pour chaque véhicule vendu	E127: Coûts d'achat	E128: Coûts de recharge		E130: Perte d'utilité. Les contrevenants peuvent recevoir plus d'amendes	E131: Perte d'utilité pour les citoyens et pour la Ville elle-même
		E123: Création ou remplacement des emplois actuels?		E126: Création ou remplacement des emplois actuels?		E134: Subvention pour chaque VE acheté				E129: Si les véhicules thermiques sont vendus ailleurs, la pollution est juste transférée ailleurs	E132: Perte d'utilité pour la société, les commerces; ceux qui ont choisi de quitter la ville et toutes leurs connaissances dans le quartier

B	C	B	C
E201: Coûts fiscaux	E202: Coûts de transaction et de la communication	Après «la ville-lumière», «la ville électrique». L'image de Paris comme une ville «verte», la première à mettre en place un tel réseau de BR et la première «ville électrique» est un bénéfice énorme. Elle peut attirer les publicités, les partenariats privés, les touristes, l'innovation, les investisseurs ou les urbanistes qui souhaitent faire la même chose dans leur pays/ville. Paris est déjà une ville qui a une bonne réputation à l'étranger. L'ajout d'une nouvelle caractéristique, de surcroît à la mode, ne peut être que bénéfique. Paris électrique. Image pour le Maire et les décideurs également.	E203: Coûts de mise en place
			E204: Création des places de parking

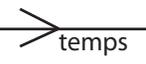
P3
Ajout:
Moins de pollution à Paris
La politique a tellement de succès
qu'il y a trop de VE à Paris
(la demande de BR dépasse l'offre)

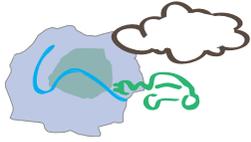
Entreprises privées Société civile

Bolloré Entreprises d'autopartage Entreprises de livraison Entreprises (existantes) EDF Société État



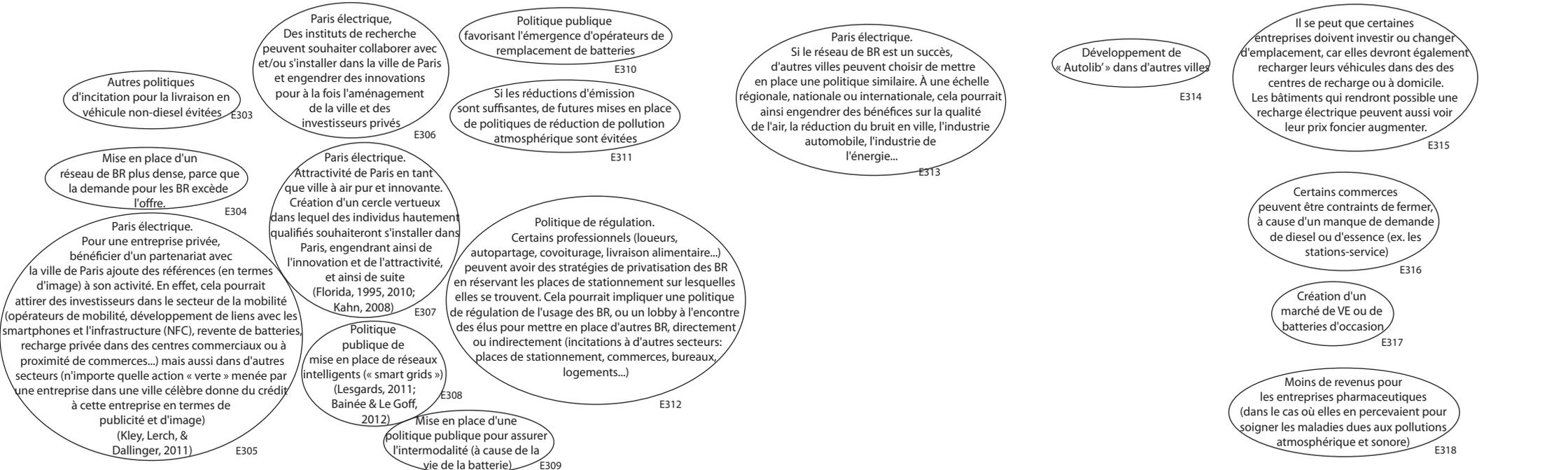
B E206: Plus d'utilisateurs d'Autolib'	C	B E207: Création de commerces et plus de «covoitureurs» E207: Réduction des embouteillages et amélioration de la qualité d'air et de la santé	C	B E210: Bénéfices grâce à l'optimisation du fret E212 et E 214: Réduction des émissions grâce à l'optimisation du fret E213: Bénéfices pour l'image de l'entreprise (une entreprise «verte») L'exemple du Groupe LaPoste montre que les conducteurs de VE sont plus à l'aise, plus confortables, le véhicule est silencieux, fiable, les chauffeurs sont moins agressifs, ont la sensation d'une image de marque et les chauffeurs bénéficient d'une meilleure acceptation sociale	C E208: Perte de temps E208: Plus le coûts dus à l'émission plus élevée de polluants. Coûts de santé associés.	B E215: Plus de consommateurs et augmentation des recettes E217: Nouvelle activité => optimisation et augmentation des recettes	C E215: Augmentation des coûts si la Mairie de Paris décide que le financement des BR est partagé par les commerces de proximité E217: Perte d'utilité et d'emplois E217: Coûts de transaction	B E218: Augmentation des coûts	C	B E219: Bénéfices dus à la réduction d'émission E220: Bénéfices dus à l'amélioration de la santé E221: Bénéfices dus à la réduction de bruit	C E223: Plus d'accidents	B E301 et E302: Bénéfices car aucune politique ne doit être mise en place	C
--------------------------------------------------	----------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------	----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	----------





Institutions publiques	Entreprises privées
------------------------	---------------------

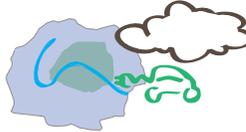
Mairie de Paris	Mairies nationales et étrangères	Bolloré	Entreprises (existantes)
-----------------	----------------------------------	---------	--------------------------



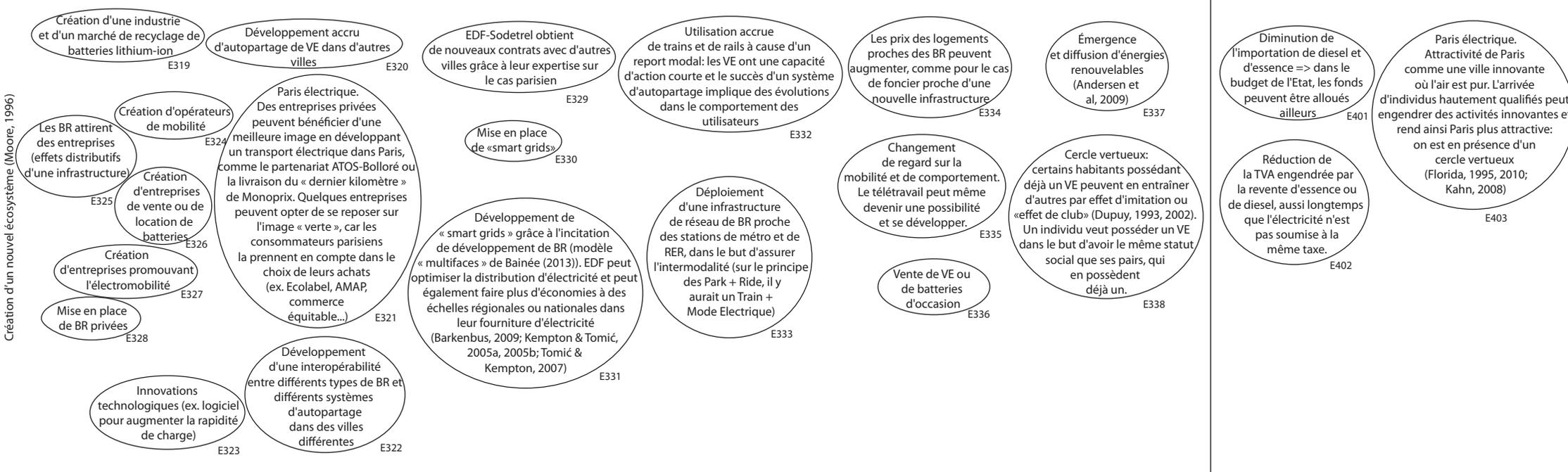
B	C	B	C	B	C
La politique de réservation de BR aide la Mairie à identifier les secteurs qui sont les plus susceptibles d'utiliser les VE => moins de coûts de surveillance E303, 311: Bénéfiques, car les politiques ne doivent pas être mises en place E305, 307: Augmentation de l'image verte de Paris, bénéfiques pour les décideurs (élections), pour l'attractivité de Paris, pour les touristes et pour l'économie de la Ville E306: Des recherches et études d'experts sont faites sur Paris, à coût nul par la Ville. Économies faites sur les études, et promotion de l'innovation: cercle vertueux	E304: Coûts de mise en place E308, 309, 310: Coûts de mise en place E312: Création des places de parking ou mise en place des moyens de surveillance	E313: Augmentation de la qualité de l'air et de la santé sur l'exemple de Paris	E313: Coûts de mise en place	E314: Augmentation des recettes	E317: Recettes dues à la vente de VE/batteries E315: Augmentation du prix des loyers E316: Destruction des emplois et diminution des recettes



P4
Ajout:
Développement de smart grids
Plus de EV à Paris



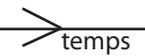
Entreprises privées				Société civile	Institutions publiques	Société civile	
Entreprises nouvellement créées		EDF-Sodetrel	SNCF	Citoyens	Société	État	Société



B		C		B		C		B		C		B		C									
E318, 322, 323, 324, 325, 326: Création d'un nouvel écosystème, emplois, augmentation des recettes, changement de la structure topo-économique parisienne		E327: Coûts de mise en place		E328: Augmentation des recettes grâce à l'émergence de nouveaux marchés		E329: Coûts de mise en place		E331: Augmentation des recettes		E332: Coûts de mise en place		E334: Moins de pollution d'air, moins de bruit, moins d'embouteillages		E333: Augmentation du prix des loyers		E336: Optimisation d'énergie, amélioration de la qualité de l'air et de la santé		E401: Réduction de la pollution, amélioration de la santé		E402: Moins des recettes pour l'État et les régions		E403: Innovation, attractivité, compétitivité. Augmentation des recettes, ou du PIB parisien	
E319: Augmentation des recettes dans d'autres villes				E330: Économies grâce à l'usage de smart grids, optimisation de l'énergie, lien avec NTIC, réduction de la consommation d'énergie				E332: Amélioration de la qualité de l'air et de la santé (société)				E335: Augmentation des recettes		E337: Augmentation de VE vendus et bénéfiques dus à la réduction du bruit et à l'amélioration de la qualité de l'air									
E320: Entreprises et commerces bénéficient de l'image verte de Paris: augmentation des recettes																							
E321: Création d'entreprises et réduction des embouteillages, amélioration de qualité de l'air et de la santé																							
E322: Développement d'une interopérabilité entre différents types de BR et différents systèmes d'autopartage dans des villes différentes																							
E323: Innovations technologiques (ex. logiciel pour augmenter la rapidité de charge)																							
E324: Paris électrique. Des entreprises privées peuvent bénéficier d'une meilleure image en développant un transport électrique dans Paris, comme le partenariat ATOS-Bolloré ou la livraison du « dernier kilomètre » de Monoprix. Quelques entreprises peuvent opter de se reposer sur l'image « verte », car les consommateurs parisiens la prennent en compte dans le choix de leurs achats (ex. Ecolabel, AMAP, commerce équitable...)																							
E325: Les BR attirent des entreprises (effets distribués d'une infrastructure)																							
E326: Création d'entreprises de vente ou de location de batteries																							
E327: Création d'entreprises promouvant l'électromobilité																							
E328: Mise en place de BR privées																							

P3

P4



9.3 Dynamique des interactions

9.3.1 La période \mathbb{P}_0

Dans l'objectif de décrire ce qu'apporte à la STE chaque effet, nous écrivons pour chaque effet la variation des grandeurs concernées entre le début de la période \mathbb{P}_0 et le début de la période \mathbb{P}_1 , en fonction des caractéristiques propres à l'effet concerné. Les notations font référence à la section 6.4 et également à la frise présentée en section 9.2.

La figure 9.1 représente les effets recensés durant la période P_0 (voir aussi la frise 9.2).

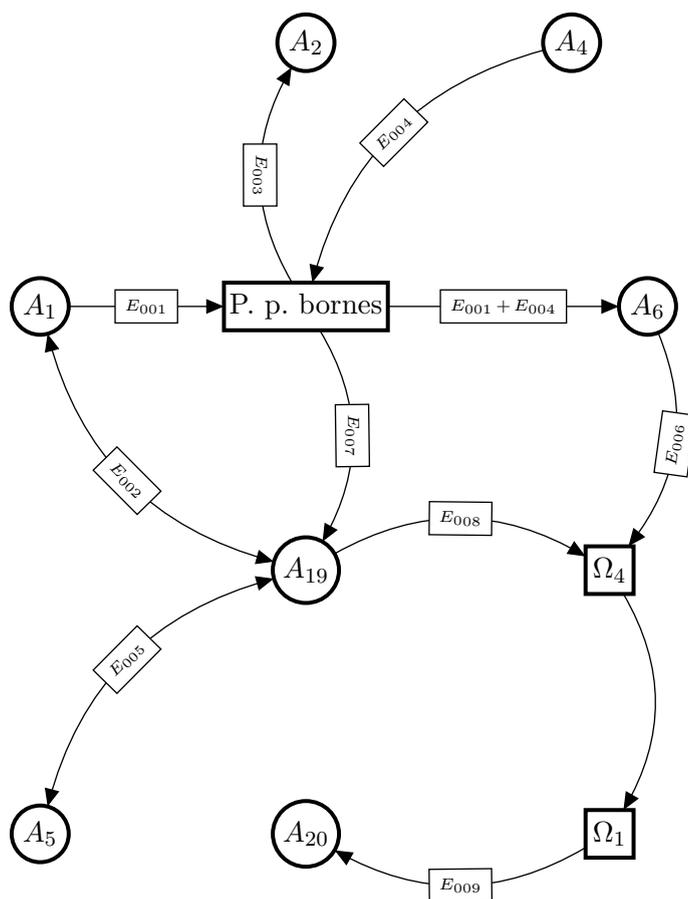


FIGURE 9.1 – Représentation graphique de la STE durant \mathbb{P}_0 .

Les effets E_{001} ² et E_{004} consistent tous deux en l'installation d'un nombre de bornes, respectivement $e_{1,1}^{\mathbb{P}_{0,D}}$ et $e_{4,1}^{\mathbb{P}_{0,D}}$ ³, dont le paiement est déduit des budgets de la Ville de Paris et de *Bolloré*, et accordé à celui de la société A_6 ⁴. Ce transfert d'argent est un coût direct, mesurable et calculable en fonction des prix du marché pour les bornes et son occurrence est, de plus, certaine :

$$\begin{aligned}
(\Delta_0^1 \omega_{4,8})_{E_{001}} &= e_{1,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} & (\Delta_0^1 \omega_{4,8})_{E_{004}} &= e_{4,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} \\
(\Delta_0^1 a_{1,8})_{E_{001}} &= -e_{1,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{4,8}) & (\Delta_0^1 a_{4,8})_{E_{004}} &= -e_{4,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{4,8}) \\
(\Delta_0^1 a_{6,8})_{E_{001}} &= e_{1,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{4,8}) & (\Delta_0^1 a_{6,8})_{E_{004}} &= e_{4,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{4,8})
\end{aligned} \tag{9.1}$$

où $p(\omega_{4,8})$ désigne le prix de construction d'une borne.

L'effet E_{002} , concerne la subvention $e_{1,2}^{\mathbb{P}_{0,I}}$ accordée aux utilisateurs de vélos électriques pour l'achat de celui-ci. Cette politique de subvention était en vigueur avant la décision d'une politique de création de bornes de recharge pour véhicules électriques : il ne s'agit donc pas d'une création, mais d'une évolution d'une activité existante, ce qui en fait un effet *indirect*. Il s'agit à nouveau d'un bien marchand, et l'étape de valorisation monétaire demande la prise en compte du prix d'un vélo électrique $p(v^*)$. L'incertitude porte cette fois sur l'ampleur de l'évolution du nombre de subventions accordées annuellement, et le scénario choisi considère que cette évolution est positive. Le budget de la ville $a_{1,8}$ diminue donc de la façon suivante :

$$\left(\Delta_0^1 a_{1,8} \right)_{E_{002}} = - \min \left(e_{1,2}^{\mathbb{P}_{0,I}}, \epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_{0,I}} \cdot p(v^*) \right) \Delta_0^1 (\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,v^*}) \tag{9.2}$$

où $\epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_{0,I}}$ est la proportion subventionnée du prix du vélo et $\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,v^*}$ le nombre de vélos nouvellement achetés par des résidents.

2. Cet effet désigne le premier effet identifié à la période \mathbb{P}_0 . De manière générale, nous avons choisi une notation choisie à trois chiffres pour ces raisons suivantes : le premier chiffre indique la période et les deux suivants caractérisent l'ordre dans lequel cet effet a été identifié. Cette notation n'a évidemment aucune importance dans l'interprétation des résultats, et un utilisateur de CoBAYe est libre de choisir sa propre notation.

3. $e_{4,1}^{\mathbb{P}_{0,D}}$, comme mentionné dans la section 6.4, signifie : l'effet direct, identifié à la période \mathbb{P}_0 , pour l'acteur A_4 (*Bolloré*). Le dernier indice signifie qu'il s'agit du premier effet identifié pour cet acteur.

4. Dans une analyse coûts-bénéfices traditionnelle, les valeurs monétaires de ces deux effets se compenseraient par mécanismes de vases communicants, mais dans l'outil CoBAYe, il nous semble pertinent de distinguer ces deux effets, en particulier dans le cas où le décideur souhaite s'attacher à l'analyse des bénéficiaires et des perdants de la politique publique.

L'effet E_{003} favorise un objectif de l'acteur A_2 , la région Ile-de-France : le Plan de Déplacements Urbains en Île-de-France (PDUIF) souhaite diminuer les émissions de polluants atmosphériques sur le territoire francilien, sans pour autant donner une marche à suivre aux collectivités. La politique de mise en place de bornes de recharge pour véhicules électriques sert donc également les intérêts du Plan prévu par l'acteur A_2 , sans que ce-dernier ait eu à entamer une action supplémentaire. Pour cet effet indirect, les bénéfices que perçoit l'acteur A_2 se traduisent en l'application du Plan et, de fait, en une amélioration de l'image de la région ou à terme une augmentation virtuelle de son budget prévisionnel :

$$\left(\Delta_0^1 a_{2,8}\right)_{E_{003}} = e_{2,3}^{\mathbb{P}_0, \mathbb{I}} \quad (9.3)$$

L'effet E_{005} décrit l'augmentation des achats de vélos électriques. Il s'agit à nouveau d'un effet indirect, puisque le marché du vélo électrique et celui de l'usage des bornes sont liés par des interdépendances existantes initialement. Il n'y a pas eu de création d'activités, mais simplement une évolution, que l'on considère à nouveau positive. Cette externalité positive de consommation (le vendeur de vélo augmente son activité) et de production (si les bornes sont utilisées pour la recharge de vélos également, l'utilité de la Mairie de Paris et de *Bolloré* sera également plus importante) se mesure au moyen du nombre de vélos achetés par rapport au scénario de référence et sa valorisation monétaire est aisée, puisqu'il s'agit d'un bien marchand⁵. L'incertitude porte en revanche sur l'ampleur de l'évolution de la vente de ce bien. D'une part, cette grandeur dépend de la préférence individuelle à utiliser un vélo électrique $a_{19,7,v^*}$; d'autre part, un effet d'image peut se produire selon lequel l'utilisation de vélos électriques par des concitoyens peut inciter chaque individu à les imiter, une tendance paramétrée par un coefficient $\epsilon_{19,2}$. L'expression de ces deux tendances forment le premier aspect de l'effet E_{005} , lequel inclut également le déboursement des citoyens nouvellement possesseurs de vélos électriques :

$$\begin{aligned} \left(\Delta_0^1 \omega_{4,3,v^*}\right)_{E_{005}} &= \left(1 - \omega_{4,2,v^*}^{\mathbb{P}_0}\right) \left(a_{19,7,v^*} + \epsilon_{19,2} \cdot \omega_{4,2,v^*}^{\mathbb{P}_0}\right) \\ \left(\Delta_0^1 a_{19,8}\right)_{E_{005}} &= \left(-p(v^*) + \min\left(e_{1,2}^{\mathbb{P}_0, \mathbb{I}}, \epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_0, \mathbb{I}} \cdot p(v^*)\right)\right) \Delta_0^1 (\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,v^*}) \end{aligned} \quad (9.4)$$

5. Cette hypothèse peut toutefois être nuancée, à cause de la nature même du bien-système que constitue le vélo électrique (Bainée, 2013). En effet, si le temps de charge d'un vélo empêche la recharge d'une voiture, il s'agit alors d'une utilisation de la borne rivale et non-cumulative.

La préférence individuelle à se déplacer à vélo $a_{19,7,v^*}$ peut être estimée à partir des caractéristiques du territoire, soit ici :

$$a_{19,7,v^*} = \sum_{\mu} \omega_{4,7,\mu \rightarrow v^*}$$

si ceux-ci sont connus. Dans le cas contraire, il faut la mesurer sur le territoire, par exemple selon un modèle densité-coût :

$$a_{19,7,v^*} = \alpha_{19,7,v^*} f(\rho) g(p(v^*))$$

où $\alpha_{19,7,v^*}$ désigne la préférence en cas de coût nul du vélo et d'accès immédiat à une borne, $\rho = \frac{\omega_{4,8}}{\omega_{1,1}}$ la densité de bornes de recharge installées, et les fonctions f, g vérifient :

$$\begin{aligned} f(0) = 0 & \quad f \nearrow \quad \lim_{\infty} f = 1 \\ g(0) = 1 & \quad g \searrow \quad \lim_{\infty} g = 0 \end{aligned}$$

Dans ce cas, un des intérêts de l'outil d'aide à la décision CoBAYe est ici mis en évidence : les étapes de mesure et de valorisation monétaire de l'effet $e_{2,3}^{\mathbb{P}_{0,1}}$ dépendent de la préférence individuelle à se déplacer à vélo $a_{19,7,v^*}$ et de ses caractéristiques en cas de coût nul du vélo et de la disponibilité des ressources du territoire $\alpha_{19,7,v^*}$. CoBAYe met en lumière comment ces grandeurs sont reliées et montre ainsi clairement ce qu'il est nécessaire de mesurer pour avoir un résultat fiable. Le lecteur peut ainsi, grâce à cet outil, avoir à l'esprit que les deux grandeurs $a_{19,7,v^*}$ et $\alpha_{19,7,v^*}$ doivent par exemple faire l'objet d'enquêtes auprès des usagers de la route pour avoir un résultat pertinent au sujet de l'effet E_{005} : L'utilisation pratique de CoBAYe permet donc également d'identifier précisément les variables et grandeurs qui doivent faire l'objet de recherches supplémentaires, et nous pensons qu'il s'agit là également d'un des objectifs d'un outil d'aide à la décision.

L'effet E_{006} est le pendant des effets E_{001} et E_{004} cités plus haut. L'entreprise payée pour la mise en place effective du réseau de bornes de recharge par les acteurs A_1 et A_4 se restreint à la construction de ces bornes, supposée composée d'un coût fixe $e_{6,1}$ et d'un coût unitaire $\epsilon_{6,1}$. Cet effet direct est immédiat, certain et facile à calculer puisqu'il s'agit du même transfert d'argent que celui examiné pour les effets E_{001} et E_{004} . L'interrogation quant à l'unicité de l'acteur A_6

peut être levée facilement pour les besoins de l'exercice : même s'il ne s'agit pas de la même entreprise de construction pour des raisons d'appels d'offres différents, la dénomination de A_6 comme *les* entreprises de construction conservent les caractéristiques des effets identifiés. Nous obtenons ainsi :

$$\left(\Delta_0^1 a_{6,8}\right)_{E_{006}} = -\epsilon_{6,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} \Delta_0^1 \omega_{4,8} - \epsilon_{6,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} \quad (9.5)$$

Les effets E_{007} et E_{008} affectent l'utilité des acteurs A_{17} et A_{20} , à travers le remplacement de places de stationnement par des bornes, donnant au premier un déficit de places de stationnement mais une plus faible durée de recherche de places, et au second un surcroît de calme et une meilleure qualité de l'air dans le cas (éventuel) où l'utilisation du vélo électrique remplace celui d'un véhicule thermique. Ces deux effets se produisent au sein d'une même STE, à interdépendances existantes, il s'agit donc d'effets indirects. L'incertitude sur l'effet E_{008} , comme dans le cas de l'effet E_{005} , dépend de l'ampleur de l'utilisation de vélos électriques par rapport au scénario de référence :

$$\begin{aligned} \left(\Delta_0^1 \omega_{4,4}\right)_{E_{007}} &= -\frac{1}{\omega_{1,1}} h(\omega_{1,1} \Delta_0^1 \omega_{4,8}) \\ \left(\Delta_0^1 \left(\sum_{\nu \notin \{v, v^*\}} \omega_{4,3,\nu}\right)\right)_{E_{008}} &= -\epsilon_{17,1}^{\mathbb{P}_{0,I}} \Delta_0^1 \omega_{4,4} \\ \left(\Delta_0^1 U(A_{17})\right)_{E_{007}} &= -u_{\text{parking}} \Delta_0^1 \omega_{4,4} \\ \left(\Delta_0^1 U(A_{17})\right)_{E_{008}} &= u_{\text{temps}} \Delta_0^1 \omega_{4,8} \\ \left(\Delta_0^1 U(A_{20})\right)_{E_{008}} &= u_{\text{calme}} \Delta_0^1 \omega_{4,8} \end{aligned} \quad (9.6)$$

où $h(n)$ donne le nombre de places de stationnement qu'il faut enlever pour pouvoir placer n bornes ; $\epsilon_{17,1}^{\mathbb{P}_{0,I}}$ la proportion d'utilisateurs de véhicules thermiques qui réduiront leur utilisation du fait du manque de places de stationnement ; $u_{\text{parking}} = \omega_{6,8}$ est l'utilité de trouver une place de stationnement, $u_{\text{temps}} = \omega_{6,3}$ est l'utilité du temps libre et $u_{\text{calme}} = \omega_{6,4}$ est celle du calme urbain.

À nouveau, l'utilisation de l'outil CoBAYe permet d'identifier des grandeurs nécessaires pour approfondir les calculs : les utilités u_{parking} , u_{temps} et u_{calme} doivent par exemple faire l'objet de mesures ou plutôt d'enquêtes (par analyse contingente ou par méthodes indirectes, comme présentées dans la section 2.5) pour être en mesure d'en attribuer une valeur monétaire et fournir un résultat chiffré à l'issue de l'analyse.

Le bilan des contributions des divers effets à la variation de chaque caractéristique peut finalement être résumé comme suit :

$$\begin{aligned}
\Delta_0^1 \omega_{4,8} &= e_{1,1}^{\mathbb{P}_0, D} + e_{4,1}^{\mathbb{P}_0, D} \\
\Delta_0^1 a_{1,8} &= -e_{1,1}^{\mathbb{P}_0, D} p(\omega_{4,8}) - \min(e_{1,2}^{\mathbb{P}_0, I}, \epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_0, I} \cdot p(v^*)) \Delta_0^1(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3, v^*}) \\
\Delta_0^1 a_{4,8} &= -e_{4,1}^{\mathbb{P}_0, D} p(\omega_{4,8}) \\
\Delta_0^1 a_{6,8} &= (e_{1,1}^{\mathbb{P}_0, D} + e_{4,1}^{\mathbb{P}_0, D}) p(\omega_{4,8}) - \epsilon_{6,1}^{\mathbb{P}_0, D} \Delta_0^1 \omega_{4,8} - e_{6,1} \mathbb{P}_0 D \\
\Delta_0^1 a_{2,8} &= e_{2,3}^{\mathbb{P}_0, I} \\
\Delta_0^1 \omega_{4,3, v^*} &= (1 - \omega_{4,2, v^*}^{\mathbb{P}_0}) (a_{19,7, v^*} + \epsilon_{19,2} \cdot \omega_{4,2, v^*}^{\mathbb{P}_0}) \\
\Delta_0^1 a_{19,8} &= (-p(v^*) + \min(e_{1,2}^{\mathbb{P}_0, I}, \epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_0, I} \cdot p(v^*))) \Delta_0^1(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3, v^*}) \\
\Delta_0^1 \omega_{4,4} &= -\frac{1}{\omega_{1,1}} h(\omega_{1,1} \Delta_0^1 \omega_{4,8}) \\
\Delta_0^1 \left(\sum_{\nu \notin \{v, v^*\}} \omega_{4,3, \nu} \right) &= -\epsilon_{17,1}^{\mathbb{P}_0, I} \Delta_0^1 \omega_{4,4} \\
\Delta_0^1 U(A_{17}) &= \omega_{6,3} \Delta_0^1 \omega_{4,8} - \omega_{6,8} \Delta_0^1 \omega_{4,4} \\
\Delta_0^1 U(A_{20}) &= \omega_{6,4} \Delta_0^1 \omega_{4,8}
\end{aligned}$$

Cela constitue la dynamique de la STE durant la période \mathbb{P}_0 .

9.3.2 La période \mathbb{P}_1

À la fin de la période \mathbb{P}_0 , des bornes ont été installées sur le territoire parisien, au nombre de $\omega_{4,8}^{\mathbb{P}_1}$. Les changements majeurs de STE qui annoncent la période \mathbb{P}_1 sont dus à la transition électrique des véhicules thermiques, c'est-à-dire des automobiles et des véhicules utilitaires.

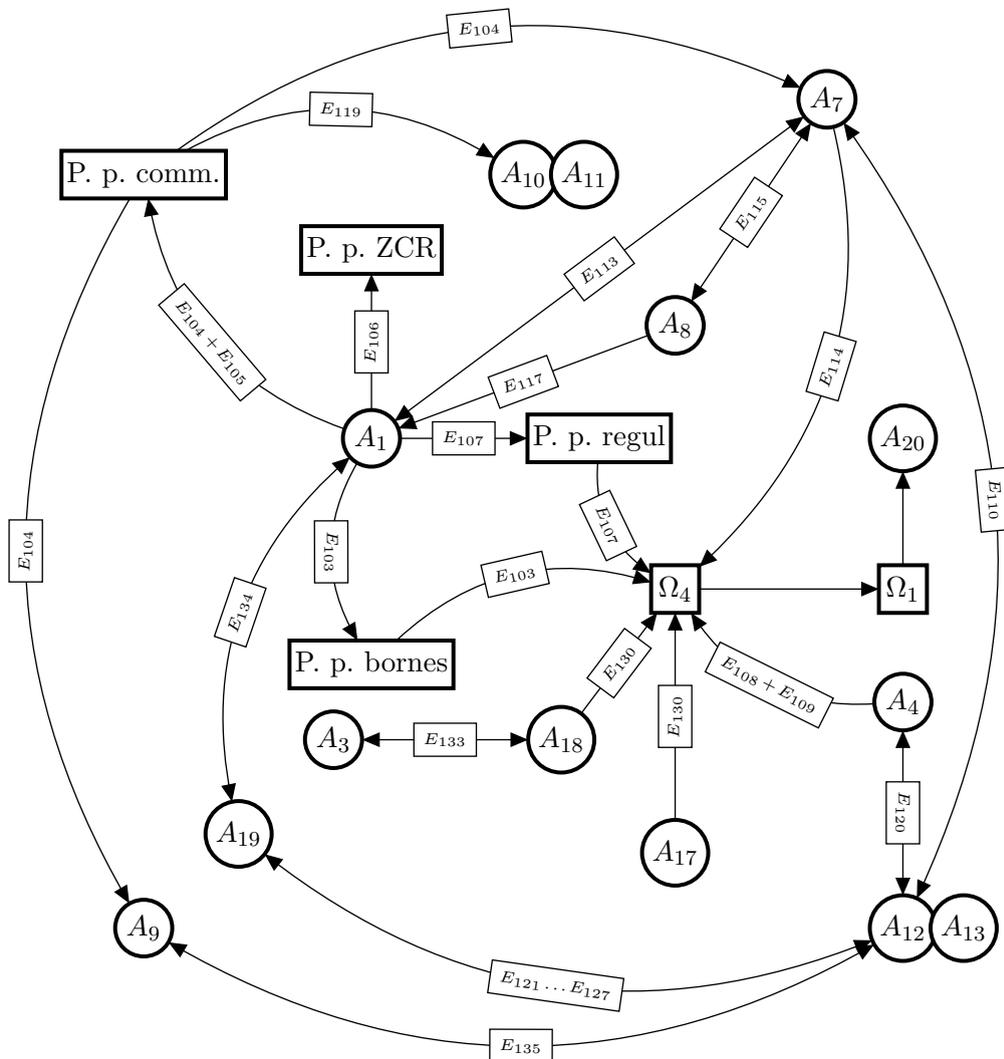


FIGURE 9.2 – Représentation graphique de la STE durant \mathbb{P}_1 .

Les effets E_{101} et E_{102} découlent de la mise en service des bornes, et consistent en leur entretien et leur réparation par la Ville A_1 . En miroir, les effets E_{108} et E_{109} touchent l'opérateur

A_4 , la société *Bolloré*. Il s'agit tous deux d'effets induits puisqu'une nouvelle activité est créée par ces acteurs du fait de l'usage des bornes. Toutefois, ces effets sont largement prévisibles, et nous avons pris pour hypothèse que les coûts d'entretien s'élevaient à 5% des coûts de mise en place. Les participations respectives des deux acteurs, proportionnelles au nombre de bornes installées, s'écrivent :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 a_{1,8})_{E_{101}+E_{102}} &= -e_{1,1}^{\mathbb{P}_0,D} \left(1 + \epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_1,U}\right) e_{1,1}^{\mathbb{P}_1,U} \\ (\Delta_1^2 a_{4,8})_{E_{108}+E_{109}} &= -e_{4,1}^{\mathbb{P}_0,D} \left(1 + \epsilon_{4,2}^{\mathbb{P}_1,U}\right) e_{4,1}^{\mathbb{P}_1,U} \end{aligned} \quad (9.7)$$

où $e_{1,1}^{\mathbb{P}_1,U}$, $e_{4,1}^{\mathbb{P}_1,U}$ sont les coûts d'entretien régulier et $\epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_1,U}$, $\epsilon_{4,2}^{\mathbb{P}_1,U}$ les fréquences de panne nécessitant un entretien ponctuel.

L'effet E_{103} consiste à subventionner l'achat de véhicules électriques. Cet effet induit est très incertain et reflète la volonté du décideur de montrer que la dépense publique pour garantir une opportunité de recharge électrique a été utile : en effet, nous supposons pour l'effet E_{103} que la Mairie de Paris ne subventionnerait l'achat de véhicules électriques pour les résidents parisiens (ou à échelle plus large ceux qui témoignent venir *assez* régulièrement à Paris) que si elle est d'avis d'une part que le « laissez-faire » du marché n'a pas été efficace, et d'autre part que l'allocation supplémentaire de ressources publiques pour l'achat de véhicules électriques est efficiente en fonction de sa rationalité et des contraintes qu'elle s'est par conséquent fixées (meilleure qualité de l'air en ville, meilleure image, perspectives de réélection...). Le mode envisagé est le même que celui des vélos à la période \mathbb{P}_0 et implique non seulement la Ville de Paris mais également l'État (au moyen de l'effet E_{133} liant A_3 à A_{19}) :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 a_{1,8})_{E_{103}} &= -(1-\eta) \sum_{\nu \in V^*} \min \left(e_{1,3}^{\mathbb{P}_1,U}, \epsilon_{1,3}^{\mathbb{P}_1,U} \cdot p(\nu) \right) \Delta_1^2(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,\nu}) \\ (\Delta_1^2 a_{3,8})_{E_{133}} &= -\eta \sum_{\nu \in V^*} \min \left(e_{3,1}^{\mathbb{P}_1,I}, \epsilon_{3,1}^{\mathbb{P}_1,I} \cdot p(\nu) \right) \Delta_1^2(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,\nu}) \end{aligned} \quad (9.8)$$

avec de nouveau, $\epsilon_{1,3}^{\mathbb{P}_1,U}$ et $\epsilon_{3,1}^{\mathbb{P}_1,I}$ la proportion subventionnée du prix du véhicule (pour la Ville et l'État respectivement), $e_{1,3}^{\mathbb{P}_1,U}$ et $e_{3,1}^{\mathbb{P}_1,I}$ le montant accordé et $\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,\nu}$ le nombre de véhicules électriques nouvellement achetés par des résidents ; $\eta \in [0, 1]$ désigne la proportion d'acheteurs ayant reçu une subvention de l'État plutôt que de la Ville. Ce dernier paramètre $\eta \in [0, 1]$ est en

particulier important dans le cas où la Ville de Paris et le gouvernement national souhaitent se concerter pour définir les modalités de répartition des subventions aux futurs usagers de véhicules électriques. On peut par exemple imaginer que la collectivité locale ne souhaiterait subventionner que ses résidents alors que l'État, qui possède une compétence nationale, peut souhaiter aider les usagers de véhicules électriques qui pratiquent le territoire parisien sans y habiter. Il est donc important de le mesurer, au moyen d'enquêtes sur les préférences des différents acteurs économiques, particuliers et professionnels, pour déterminer le mode de répartition partagé des aides publiques.

Les effets E_{104} et E_{105} constituent une politique de communication à part entière et requièrent simplement des frais correspondant à sa mise en place. Ces effets induits ont en particulier été obtenus par concertation avec les services techniques de la Ville de Paris et des acteurs industriels concernés, mais également grâce aux entretiens avec des praticiens de métropoles étrangères (Londres et Berlin notamment) pour qui ces politiques ont été nécessaires pour à la fois faciliter l'acceptation sociale de la mesure par leurs concitoyens et aussi favoriser l'achat de véhicules électriques, tant particuliers que utilitaires. Les externalités informationnelles, telles que décrites par Cowan et Hultén (1996), relient également l'importance de la communication et de la visibilité de la performance d'une nouvelle technologie pour qu'elle entraîne par elle-même un usage accru : en d'autres termes, une communication sur un usage pratique du véhicule électrique et le fait de se rendre compte de cet usage de visu engendre une plus grande fiabilité dans cette nouvelle technologie et incite d'autres agents économiques à l'achat et à l'usage d'un véhicule électrique. De surcroît, de mauvaises expériences ou des témoignages négatifs sur l'usage d'un véhicule électrique dans d'autres métropoles, par exemple, peut engendrer une inquiétude quant à l'assurance de pouvoir réaliser ses déplacements quotidiens en véhicule électrique, voire un désintérêt de la technologie elle-même. Ces expériences peuvent alors être perçues comme les « *weaker links* » (Fauchart et Cowan, 2014) d'une industrie dont la réputation a un effet important sur les ventes de ses produits. Une politique de communication sur les bénéfices de l'usage de ces véhicules, à l'initiative des industriels eux-mêmes, ou des pouvoirs publics, peut alors être une stratégie gagnante pour les deux parties⁶. Enfin, à ces éléments favorisant l'émergence

6. L'industrie automobile électrique peut alors anticiper plus de ventes et la Mairie de Paris anticipera également un usage accru des bornes de recharge publiques qu'elle a financées.

et la diffusion de ce véhicule en ville, nous pouvons aussi adjoindre l'effet E_{106} , qui concerne l'implémentation d'autres politiques publiques destinées à la réduction de la circulation ou de la pollution (comme la mise en place d'une « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) ou d'une de ses déclinaisons), et ajouter tous ces coûts. L'incertitude sur leur occurrence dépend donc de la rationalité du décideur, des objectifs qui lui sont prioritaires, et des contraintes auxquelles il doit faire face (budget restreint, pollution importante...) :

$$\left(\Delta_1^2 a_{1,8}\right)_{E_{104}+E_{105}+E_{106}} = -e_{1,4}^{\mathbb{P}_{1,U}} - e_{1,5}^{\mathbb{P}_{1,U}} - e_{1,6}^{\mathbb{P}_{1,U}} \quad (9.9)$$

L'effet E_{107} implique la mise en place d'une autre politique publique, pour s'assurer de l'état des bornes (système de détection automatique) et de l'utilisation justifiée des places de stationnement attenantes (vidéosurveillance). Cet effet induit témoigne d'une anticipation du décideur et des usagers sur des travers possibles, mais incertains, de l'utilisation des bornes, voire d'une volonté affichée de les abîmer. L'ensemble exige un coût rapporté aux bornes $\epsilon_{1,7}^{\mathbb{P}_{1,U}}$, ainsi que la mise en place de sanctions pour les contrevenants. En comptant le bénéfice dû aux amendes éventuelles (de montant $e_{1,7}^{\mathbb{P}_{1,U}}$, voir aussi l'équation 9.24), les frais se montent à :

$$\left(\Delta_1^2 a_{1,8}\right)_{E_{107}} = -\epsilon_{1,7}^{\mathbb{P}_{1,U}} \omega_{4,8}^{\mathbb{P}_1} - e_{1,7}^{\mathbb{P}_{1,U}} + \epsilon_{17,5}^{\mathbb{P}_{1,U}} e_{17,5}^{\mathbb{P}_{1,U}} e_{1,7}^{\mathbb{P}_{1,U}} \quad (9.10)$$

L'effet E_{110} désigne l'achat de véhicules électriques par l'acteur A_7 , le corps des entreprises de livraison. Cet effet induit est assez probable du fait de la volonté affichée de plusieurs industriels d'utiliser ces bornes dans les conditions prévues par la politique publique, c'est-à-dire ce qui peut être perçu comme une garantie de stationnement pendant les heures de livraison journalières. Il faut bien entendu tenir compte des subventions possibles, et nous faisons l'hypothèse que la proportion de particuliers achetant des utilitaires électriques u^* suite à la politique des bornes de recharge électrique est négligeable. De plus, cet effet conduit aussi à l'augmentation de la flotte électrique des utilitaires.

$$\begin{aligned} \left(\Delta_1^2 a_{7,8}\right)_{E_{110}} &= (-p(u^*) + \min(e, \epsilon \cdot p(u^*))) \Delta_1^2(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,u^*}) \\ \left(\Delta_1^2 \omega_{4,3,u^*}\right)_{E_{110}} &= \left(1 - \omega_{4,2,v^*}^{\mathbb{P}_1}\right) a_{7,7,u^*}^{\mathbb{P}_1} \end{aligned} \quad (9.11)$$

où $e = (1 - \eta)e_{1,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} + \eta e_{3,1}^{\mathbb{P}_1, \text{I}}$ et $\epsilon = (1 - \eta)\epsilon_{1,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} + \eta\epsilon_{3,1}^{\mathbb{P}_1, \text{I}}$ sont les subventions moyennes (en fonction de chaque institution : Mairie de Paris ou État) et $a_{7,7,u}^{\mathbb{P}_1}$ désigne la propension des sociétés de livraison à choisir un utilitaire électrique, qu'il s'agira de déterminer par une enquête ciblée sur ce corps de métier.

L'effet induit E_{111} indique les conséquences de l'usage d'un véhicule électrique. Il résulte de l'effet précédent et décrit le passage de la recharge à l'essence (ou au diesel) à la recharge électrique. Cet effet est aisément calculable (la recharge étant un service marchand) en fonction du traitement de la question de l'incertitude sur le nombre d'usagers qui effectuent la transition électrique et sur la fréquence de leur recharge. En notant $p(C)$ le prix du combustible et $p(C^*)$ celui des batteries (en coût fixe) et de la recharge (en coût variable), rapportés au kilomètre parcouru, nous obtenons :

$$(\Delta_1^2 a_{7,8})_{E_{111}} = -\omega_{4,9,u^*} (p(C^*) - p(C)) \quad (9.12)$$

Le temps d'autonomie étant modifié, les livreurs doivent évaluer l'intérêt de changer de véhicule en fonction de la proximité des bornes à leur trajet habituel, face à l'intérêt d'un changement logistique de déplacement. À ce stade, nous faisons l'hypothèse que seuls les livreurs à qui le besoin de recharge n'impose pas de grandes modifications de trajet auront effectué la transition électrique à \mathbb{P}_1 , et reportons le traitement de la question logistique à \mathbb{P}_2 .

L'effet induit E_{112} modélise la vente des véhicules utilitaires thermiques par les entreprises de livraison qui ne souhaitent plus les utiliser dans Paris, bénéficiant maintenant d'une offre de recharge électrique et de véhicules correspondants. La nature de la vente dépend toutefois de la rationalité de l'industriel, c'est-à-dire qu'il peut poursuivre l'usage de ses véhicules en périphérie de Paris pour des trajets du centre de production aux centres de distribution par exemple, ou pour des livraisons à l'extérieur de Paris. Sinon, la vente se fait sans doute à d'autres utilisateurs de véhicules utilitaires, en métropole ou à l'étranger. Dans les deux cas toutefois, la trésorerie de l'industriel se traduit par les mêmes chiffres en supposant que celui-ci doit de toute façon avoir des véhicules pour livrer ses clients (soit l'utilisation des véhicules thermiques est restreinte à la périphérie de Paris et les véhicules électriques nouvellement achetés servent à la livraison dans la

capitale, soit la vente des véhicules thermiques entraîne des recettes qui permettent l'achat de nouveaux véhicules). Enfin, comme dans les deux cas, l'effet E_{112} concerne *a priori* les acheteurs de véhicules utilitaires électriques, nous pouvons donc écrire :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 \omega_{4,3,u})_{E_{112}} &= -(\Delta_1^2 \omega_{4,3,u^*})_{E_{110}} \\ (\Delta_1^2 a_{7,8})_{E_{112}} &= p(u) \cdot (-\Delta_1^2 \omega_{4,3,u})_{E_{112}} \end{aligned} \quad (9.13)$$

L'effet induit E_{113} améliore l'image des sociétés de livraison elles-mêmes, propres et silencieuses, dans le cadre de la Charte en faveur d'une Logistique Urbaine Durable. Cela leur demande des frais de communication d'un montant $e_{7,4}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}}$. Les bénéfices que peuvent en retirer les entreprises de livraison sont sans doute bien existants, mais restent difficiles à mesurer, eu égard à l'intermédiaire de mesure (le prix, ou la fréquence d'achat à une enseigne donnée par exemple) et au fait que la préférence des consommateurs pour une marque ou un livreur est multi-factorielle. Des techniques de marketing peuvent par exemple être utilisées pour déceler les bénéfices des entreprises de livraison dues au fait que l'utilisation d'un véhicule électrique leur confère une meilleure image.

$$(\Delta_1^2 a_{7,8})_{E_{113}} = -e_{7,4}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}} \quad (9.14)$$

Dans l'optique d'inciter à l'achat d'utilitaires électriques, l'effet E_{114} propose que la Ville agisse sur le taux $\epsilon_{1,8}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}}$ de places de stationnement réservées aux utilitaires à proximité des bornes de rechargement ; mais cela n'affectera que ceux des livreurs dont le trajet usuel ne requiert pas de détour pour la recharge. Sans autre connaissance spatialement plus précise de leur mobilité, nous pouvons *a priori* seulement écrire :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 \omega_{4,5})_{E_{114}} &= (1 + \epsilon_{1,8}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}}) \omega_{4,5}^{\mathbb{P}_1} \\ \frac{\partial a_{7,7,u^*}}{\partial \omega_{4,5}} &> 0 \end{aligned} \quad (9.15)$$

L'effet induit E_{115} est une mutualisation de la flotte de véhicules utilitaires électriques et représente ainsi une initiative privée et concertée pour favoriser l'émergence et la diffusion du véhicule électrique à travers le modèle d'auto-partage de Bainée (2013). En effet, les discussions et entretiens que nous avons pu avoir avec les professionnels de la Mairie de Paris et industriels témoignent d'une volonté de partager un même véhicule pour des usages différents et échelonnés

dans le temps. Des entreprises de livraison peuvent ainsi partager les frais d'achat et de recharge de leur flotte de véhicules électriques et les utiliser à tour de rôle, sur le principe des primeurs le matin, du courrier par la suite, des plateaux-repas à l'heure du déjeuner et des produits réfrigérés le soir par exemple. Nous serions en présence d'un nouveau « *business model* », permettant une coopération entre des entreprises non-concurrentielles, une optimisation et une réduction des coûts. Ce rapprochement entre des entreprises de différents secteurs *a priori* peut même se traduire par de futures coopérations, de réductions de coûts de transaction, de confiance, ou de meilleure compréhension des routines de collègues pour favoriser une optimisation des usages du véhicule ou d'autres marchés naissants de ces coopérations. La flotte de véhicules utilitaires électriques $(\Delta_1^2 a_{7,8})_{E_{115}}$ peut donc augmenter, mais c'est surtout son usage qui sera croissant, les entreprises ayant plus intérêt à l'utiliser étant donné que les coûts sont partagés. L'incertitude vient toutefois de l'horizon temporel d'évaluation (début et fin) et de l'ampleur de cet usage. Faut-il une institutionnalisation du procédé ? Ou un partenariat privé entre entreprises consentantes est-il suffisant à l'émergence, dans un premier temps, et à la diffusion, dans un second temps, de la mutualisation de flottes de véhicules électriques ?

L'effet induit E_{116} observe l'activité économique de la ville du point de vue des autres entreprises, et notamment des commerces. Dans la mesure où la difficulté à trouver des places de stationnement, du fait de l'existence des bornes depuis \mathbb{P}_0 et en fonction de la décision de la Ville de réserver certaines places aux utilitaires, risque d'affecter la fréquentation du centre-ville (SYTRAL, 2003; Duverney-Pret, 2008), ce phénomène est susceptible de signifier une réduction d'une proportion de $\epsilon_{8,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}$ de la clientèle des commerces, qui se reporterait sur leurs bénéficiaires :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 \omega_{4,4})_{E_{116}} &= -\epsilon_{1,8}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \omega_{4,5}^{\mathbb{P}_1} \\ (\Delta_1^2 a_{8,8})_{E_{116}} &= -\epsilon_{8,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \epsilon_{1,8}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} a_{8,8}^{\mathbb{P}_1} \end{aligned} \tag{9.16}$$

En réaction à ces inconvénients de la politique de la Ville, les commerces exprimeront sans doute leurs griefs auprès de la Ville et ce coût peut être exprimé à partir du temps $e_{8,2}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}$ consacré à l'effet de pression (CERTU, 2003), comme le détaille l'effet induit E_{117} . L'incertitude caractérisant ces deux effets concerne à la fois la mise en pratique effective même de tels comportements et

leur ampleur :

$$(\Delta_1^2 a_{8,8})_{E_{117}} = -\omega_{6,3} \epsilon_{8,2}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \quad (9.17)$$

L'effet E_{118} envisage la possibilité que les professionnels autres que les livreurs achètent des véhicules électriques afin de pouvoir bénéficier des places de stationnement réservées aux utilitaires électriques (une mesure *a priori* ciblée sur les entreprises de livraison). Cela se traduirait par une augmentation des véhicules électriques en circulation, mais aussi par une baisse de places disponibles pour les utilitaires dans leur ensemble. Notant $\epsilon_{8,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}$ la proportion de tels achats parmi les membres de A_9 et $a_{8,17}^{\mathbb{P}_1} = \#A_9$ le nombre de membres, nous récapitulons donc les effets E_{110} , E_{111} et E_{112} :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 a_{9,8})_{E_{118}} &= \epsilon_{9,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} a_{9,17}^{\mathbb{P}_1} ((-p(u^*) + \min(e, \epsilon \cdot p(u^*))) - \omega_{4,9,u^*} (p(C^*) - p(C)) + p(u)) \\ (\Delta_1^2 \omega_{4,3,u^*})_{E_{118}} &= \epsilon_{9,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} a_{9,17}^{\mathbb{P}_1} \\ (\Delta_1^2 \omega_{4,3,u})_{E_{118}} &= -\epsilon_{9,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} a_{9,17}^{\mathbb{P}_1} \end{aligned} \quad (9.18)$$

L'effet induit E_{119} décrit l'augmentation de la popularité de l'auto-partage (avec des véhicules en libre-service en location) et du covoiturage (où le propriétaire du véhicule propose un trajet ponctuellement et informellement) dans la mouvance d'une société d'acteurs qui choisissent de façon plus réfléchie leurs modes de déplacement. Sans information supplémentaire, nous pouvons écrire la diminution des véhicules en circulation et, par conséquent, des émissions de polluants, qui en résulte :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 \omega_{4,2,\text{ap}})_{E_{119}} &= \epsilon_{10,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \\ (\Delta_1^2 \omega_{4,2,\text{cv}})_{E_{119}} &= \epsilon_{11,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \\ \left(\Delta_1^2 \left(\sum_{\mu \notin \{\text{ap}, \text{cv}\}} \omega_{4,2,\mu} \right) \right)_{E_{119}} &= -\epsilon_{10,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} - \epsilon_{11,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \end{aligned} \quad (9.19)$$

L'effet E_{120} , relatif à de nouveaux partenariats entre constructeurs automobiles et opérateurs d'auto-partage, annonce la mise en place de nouveaux produits dans les périodes à venir. En effet, conscients de l'offre de recharge électrique sur le territoire, et réagissant au signal des législateurs sur l'usage des bornes et la volonté croissante de réduction de la part de véhicules de carburant diesel dans la capitale, les constructeurs automobiles peuvent être tentés de nouer des

partenariats en fonction de leurs compétences respectives pour être les plus performants sur un nouveau marché naissant et territorialisé.

Les effets E_{121}/E_{124} et E_{122}/E_{125} découlent des comportements des acheteurs de véhicules électriques : dans l'hypothèse où l'usage du véhicule électrique remplace l'usage que les agents économiques avaient d'un véhicule classique, les constructeurs automobiles vendent aux professionnels et aux particuliers des véhicules électriques, mais cela réduit d'autant leurs ventes de véhicules thermiques. Sans autre hypothèse, le remplacement s'écrit :

$$\begin{aligned}
(\Delta_1^2 a_{12,8})_{E_{121}} &= \phi \sum_{\nu \in V^*} p(\nu) \Delta_1^2 \omega_{4,3} \nu \\
(\Delta_1^2 a_{13,8})_{E_{124}} &= (1 - \phi) \sum_{\nu \in V^*} p(\nu) \Delta_1^2 \omega_{4,3} \nu \\
(\Delta_1^2 a_{12,8})_{E_{122}} &= -\phi \sum_{\nu \notin V^*} p(\nu) \Delta_1^2 \omega_{4,3} \nu \\
(\Delta_1^2 a_{13,8})_{E_{125}} &= -(1 - \phi) \sum_{\nu \notin V^*} p(\nu) \Delta_1^2 \omega_{4,3} \nu
\end{aligned} \tag{9.20}$$

où $\phi \in [0, 1]$ désigne la fraction des acheteurs qui ont choisi une marque française.⁷

De plus, les constructeurs doivent aménager leur production pour s'adapter à la demande de véhicules électriques, ce que les effets E_{123}/E_{126} traduisent par un coût ponctuel. Ces effets induits peuvent intervenir à un horizon temporel plus ou moins éloigné de la mise en place de la politique des bornes de recharge et dépendent à la fois de la rapidité avec laquelle les consommateurs ont réagi au signal de la collectivité locale et de l'État mais aussi du positionnement initial des

7. Ce groupe d'effets constitue une bonne illustration de l'analyse menée dans le cadre de CoBAYe. Les équations qui précèdent sembleraient en effet indiquer que chaque constructeur voit ses commandes être simplement échangées, d'un véhicule thermique à un électrique. Bien sûr, l'évolution des ventes automobiles, même durant une période restreinte, n'est ni aussi dépourvue de fluctuations, ni homogène eu égard aux différentes marques. Mais nous ne nous intéressons qu'aux aspects différenciels du scénario de référence qui comporte également toutes ces variations. En réalité, l'hypothèse implicite faite ici (et dans l'ensemble du raisonnement qui sous-tend cette modélisation) consiste à dire que tous les constructeurs s'adaptent de la même manière à la demande de véhicules électriques (en augmentant leurs prévisions de production par exemple), mais conservent toutes leurs différences pour tous les aspects qui n'apparaissent pas parmi les effets recensés ici. Autrement dit, par rapport au scénario de référence où les ventes évoluent à leur rythme et différemment selon les constructeurs, le scénario analysé via notre STE est monotone et homogène, jusqu'à ce qu'un effet *induit par la politique des bornes* crée une dissymétrie entre constructeurs, en fonction de leur positionnement et de la rapidité avec laquelle ils ont réagi sur le nouveau marché électrique.

différents producteurs de véhicules électriques existants sur le marché :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 a_{12,8})_{E_{123}} &= -e_{12,3}^{\mathbb{P}_{1,U}} \\ (\Delta_1^2 a_{13,8})_{E_{126}} &= -e_{13,3}^{\mathbb{P}_{1,U}} \end{aligned} \quad (9.21)$$

De même que pour les vélos en \mathbb{P}_0 , les citoyens roulant en véhicule thermique bénéficient de subventions du gouvernement national pour l'achat d'une automobile électrique. L'effet E_{127} se traduit par :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 a_{17,8})_{E_{127}} &= (-p(a^*) + \min(e, \epsilon \cdot p(a^*))) \Delta_1^2(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,a^*}) \\ (\Delta_1^2 \omega_{4,3,a^*})_{E_{127}} &= (1 - \omega_{4,2,a^*}^{\mathbb{P}_1}) a_{17,7,a^*}^{\mathbb{P}_1} \end{aligned} \quad (9.22)$$

tandis que les effets E_{128} et E_{129} , concernant la recharge électrique des véhicules plutôt qu'à la recharge au carburant, et à la revente de véhicules thermiques respectivement, suivent la forme des effets E_{111} et E_{112} relatifs aux livreurs :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 a_{17,8})_{E_{128}} &= -\omega_{4,9,u^*} (p(C^*) - p(C)) \\ (\Delta_1^2 \omega_{4,3,a})_{E_{129}} &= -(\Delta_1^2 \omega_{4,3,a^*})_{E_{127}} \\ (\Delta_1^2 a_{17,8})_{E_{129}} &= p(a) \cdot (-\Delta_1^2 \omega_{4,3,a})_{E_{129}} \end{aligned} \quad (9.23)$$

L'effet E_{130} est le pendant de l'effet E_{107} et postule un nombre $e_{17,5}^{\mathbb{P}_{1,U}}$ de contrevenants aux places de stationnement réservées, dont une proportion $\epsilon_{17,5}^{\mathbb{P}_{1,U}}$ sera sujette à des amendes :

$$(\Delta_1^2 a_{17,8})_{E_{130}} = \left(-\epsilon_{17,5}^{\mathbb{P}_{1,U}} e_{17,7}^{\mathbb{P}_{1,U}} + \left(1 - \epsilon_{17,5}^{\mathbb{P}_{1,U}} \right) \omega_{6,8} \right) e_{17,5}^{\mathbb{P}_{1,U}} \quad (9.24)$$

Enfin, les effets E_{131} et E_{132} s'intéressent au comportement des automobilistes thermiques (A_{17}) et des résidents de Paris (A_{20}) face aux difficultés de stationnement, dont une proportion $\epsilon^{\mathbb{P}_{1,U}}$ pourrait décider de déménager en proche banlieue, ou alors de quitter Paris. Sans inclure les coûts de déménagement pour ces personnes, les conséquences immédiates pour le reste de Paris sont une modification de l'environnement économique (consommation réduite) et résidentiel

(possibilités de logement accrues) :

$$\begin{aligned}
 (\Delta_1^2 \omega_{6,1})_{E_{131}+E_{132}} &= -(\epsilon_{17,6}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}} + \epsilon_{20,1}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}}) \omega_{6,1}^{\mathbb{P}_1} \\
 (\Delta_1^2 \omega_{5,1})_{E_{131}+E_{132}} &= -(\Delta_1^2 \omega_{6,1})_{E_{131}+E_{132}} \\
 (\Delta_1^2 \omega_{4,3,a})_{E_{131}+E_{132}} &= -\left(1 - \frac{1}{\omega_{6,1}^{\mathbb{P}_1}}\right) \frac{\epsilon_{17,6}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}} + \epsilon_{20,1}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}}}{1 + \epsilon_{17,6}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}} + \epsilon_{20,1}^{\mathbb{P}_1, \mathbb{U}}}
 \end{aligned} \tag{9.25}$$

La dynamique de \mathbb{P}_1 est ainsi :

$$\begin{aligned}
\Delta_1^2 \omega_{4,2,ap} &= \epsilon_{10,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \\
\Delta_1^2 \omega_{4,2,cv} &= \epsilon_{11,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \\
\Delta_1^2 \omega_{4,3,u} &= -\Delta_1^2 \omega_{4,3,u^*} - \epsilon_{9,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} a_{9,17}^{\mathbb{P}_1} \\
\Delta_1^2 \omega_{4,3,u^*} &= \epsilon_{9,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} a_{9,17}^{\mathbb{P}_1} \\
\Delta_1^2 \omega_{4,3,a^*} &= \left(1 - \omega_{4,2,a^*}^{\mathbb{P}_1}\right) a_{17,7,a^*}^{\mathbb{P}_1} \\
\Delta_1^2 \omega_{4,3,a} &= -\Delta_1^2 \omega_{4,3,a^*} - \left(1 - \frac{1}{\omega_{6,1}^{\mathbb{P}_1}}\right) \frac{\epsilon_{17,6}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} + \epsilon_{20,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}}{1 + \epsilon_{17,6}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} + \epsilon_{20,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}} \\
\Delta_1^2 \omega_{4,4} &= -\epsilon_{1,8}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \omega_{4,5}^{\mathbb{P}_1} \\
\Delta_1^2 \omega_{4,5} &= \left(1 + \epsilon_{1,8}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}\right) \omega_{4,5}^{\mathbb{P}_1} \\
\Delta_1^2 \omega_{5,1} &= -\Delta_1^2 \omega_{6,1} \\
\Delta_1^2 \omega_{6,1} &= -\left(\epsilon_{17,6}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} + \epsilon_{20,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}\right) \omega_{6,1}^{\mathbb{P}_1} \\
\\
\Delta_1^2 a_{1,8} &= -e_{1,1}^{\mathbb{P}_0, \text{D}} \left(1 + \epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}\right) e_{1,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} - e_{1,4}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} - e_{1,5}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} - e_{1,6}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} - \epsilon_{1,7}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \omega_{4,8}^{\mathbb{P}_1} + e_{1,7}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \left(\epsilon_{17,5}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} e_{17,5}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} - 1\right) \\
&\quad - (1 - \eta) \sum_{\nu \in V^*} \min\left(e_{1,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}, \epsilon_{1,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \cdot p(\nu)\right) \Delta_1^2(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3, \nu}) \\
\Delta_1^2 a_{3,8} &= -\eta \sum_{\nu \in V^*} \min\left(e_{3,1}^{\mathbb{P}_1, \text{I}}, \epsilon_{3,1}^{\mathbb{P}_1, \text{I}} \cdot p(\nu)\right) \Delta_1^2(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3, \nu}) \\
\Delta_1^2 a_{4,8} &= -e_{4,1}^{\mathbb{P}_0, \text{D}} \left(1 + \epsilon_{4,2}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}\right) e_{4,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \\
\Delta_1^2 a_{7,8} &= -\omega_{4,9,u^*} (p(C^*) - p(C)) + p(u) \cdot \left(-\Delta_1^2 \omega_{4,3,u} - e_{7,4}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}\right) \\
\Delta_1^2 a_{8,8} &= -\epsilon_{8,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \epsilon_{1,8}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} a_{8,8}^{\mathbb{P}_1} - \omega_{6,3} e_{8,2}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \\
\Delta_1^2 a_{9,8} &= \epsilon_{9,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} a_{9,17}^{\mathbb{P}_1} \left((-p(u^*) + \min(e, \epsilon \cdot p(u^*)))\right) - \omega_{4,9,u^*} (p(C^*) - p(C)) + p(u) \\
\Delta_1^2 a_{12,8} &= \phi \sum_{\nu \in V^*} p(\nu) \Delta_1^2 \omega_{4,3 \nu} - \phi \sum_{\nu \notin V^*} p(\nu) \Delta_1^2 \omega_{4,3 \nu} - e_{12,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \\
\Delta_1^2 a_{13,8} &= (1 - \phi) \sum_{\nu \in V^*} p(\nu) \Delta_1^2 \omega_{4,3 \nu} - (1 - \phi) \sum_{\nu \notin V^*} p(\nu) \Delta_1^2 \omega_{4,3 \nu} - e_{13,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} \\
\Delta_1^2 a_{17,8} &= (-p(a^*) + \min(e, \epsilon \cdot p(a^*))) \Delta_1^2(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,a^*}) - \omega_{4,9,u^*} (p(C^*) - p(C)) \\
&\quad + p(a) \cdot \left(-\Delta_1^2 \omega_{4,3,a} + \left(-\epsilon_{17,5}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} e_{1,7}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} + \left(1 - \epsilon_{17,5}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}\right) \omega_{6,8}\right) e_{17,5}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}\right)
\end{aligned}$$

9.3.3 La période \mathbb{P}_2

A la fin de la période \mathbb{P}_1 , les véhicules électriques en circulation dans Paris sont devenus nombreux, et il y a une demande de bornes de recharge qui, dans le scénario envisagé, ont été utiles.

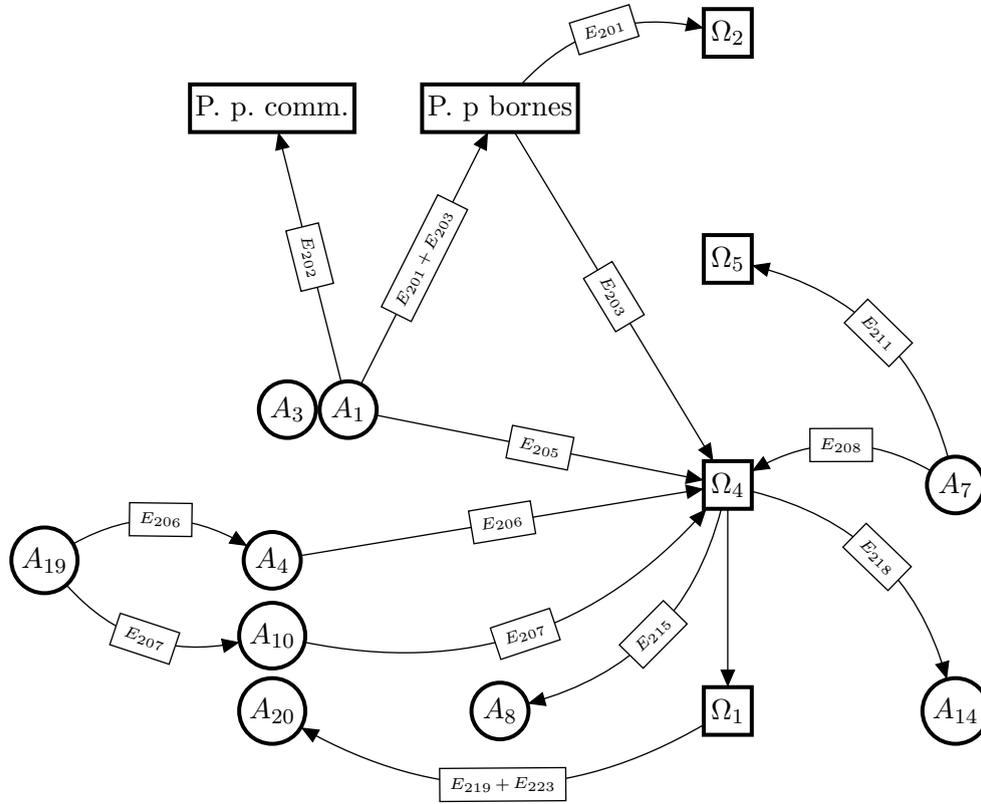


FIGURE 9.3 – Représentation graphique de la STE durant \mathbb{P}_2 .

Les effets induits $E_{201}, E_{202}, E_{203}$ et E_{205} se rapportent tous à la mise en place de nouvelles politiques publiques par la Ville. Il s'agit d'inciter les bailleurs sociaux à installer des bornes dans leurs immeubles, de prévoir une réglementation contre les risques d'incendie, d'accroître le nombre de bornes de rechargement par $e_{1,3}^{\mathbb{P}_2, U}$ et, éventuellement, d'accorder aux véhicules électriques le droit d'utiliser les voies de bus. À chaque fois, l'incertitude quant à l'occurrence de ces politiques publiques est liée à la rationalité du décideur et à l'ampleur des résultats qu'il souhaite atteindre. Cela se traduit par des coûts de mise en place et affecte les composantes Ω_2

(réglementation), Ω_3 (infrastructure) et Ω_4 (la composante relative aux bornes) du territoire.

$$\begin{aligned}
(\Delta_2^3 a_{1,8})_{E_{201}+E_{202}+E_{203}+E_{205}} &= -e_{1,1}^{\mathbb{P}_2,U} - e_{1,2}^{\mathbb{P}_2,U} - e_{1,3}^{\mathbb{P}_2,U} p(\omega_{4,8}) - e_{1,5}^{\mathbb{P}_2,U} \\
(\Delta_1^2 \omega_{4,8})_{E_{203}} &= -e_{1,3}^{\mathbb{P}_2,U} \\
(\Delta_1^2 \omega_{3,1,\nu})_{E_{205}} &= \omega_{3,1,b} \quad \forall \nu \in V^*
\end{aligned} \tag{9.26}$$

où $\omega_{3,1,b}$, la densité de voies de bus existantes, est l'accroissement de la densité de voies utilisables par les véhicules électriques.

Les effets E_{206} et E_{207} décrivent le développement de l'auto-partage (Giarini et Stahel, 1993) : d'une part, le système de voitures en libre-service acquiert plus de clients (Rozhdestvenskiy et Bouchner, 2013) et, d'autre part, en conséquence, le nombre de véhicules particuliers (thermiques) roulant diminue, et la circulation est réduite également (le nombre d'automobiles utilisées par les usagers usuels des transports en commun est borné par le nombre de voitures disponibles, et nous le supposons faible car il implique un changement d'habitudes important). L'occurrence de ces deux effets induits dépend de la rationalité des acteurs économiques du territoire parisien et de leur souhait de participer au changement d'usage.

$$\begin{aligned}
(\Delta_2^3 \omega_{4,2,ap})_{E_{206}+E_{207}} &= \epsilon_{10,1}^{\mathbb{P}_2,U} + \epsilon_{4,1}^{\mathbb{P}_2,U} \\
(\Delta_2^3 a_{4,8} + \Delta_2^3 a_{10,8})_{E_{206}+E_{207}} &= p(ap) (\Delta_2^3 \omega_{4,2,ap})_{E_{206}+E_{207}} \\
\left(\Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \neq ap} \omega_{4,2,\mu} \right) \right)_{E_{206}+E_{207}} &= -(\Delta_2^3 \omega_{4,2,ap})_{E_{206}+E_{207}} \\
(\Delta_2^3 U(A_{17}))_{E_{206}+E_{207}} &= \omega_{6,3} \Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \neq ap} \omega_{4,2,\mu} \right)_{E_{206}+E_{207}}
\end{aligned} \tag{9.27}$$

avec de nouveau, $\epsilon_{4,1}^{\mathbb{P}_1,2,U}$ et $\epsilon_{10,1}^{\mathbb{P}_2,U}$ l'augmentation des utilisateurs d'automobiles partagées.

L'ensemble des effets E_{208} à E_{214} décrivent les changements de logistique que les entreprises de livraison sont amenées à mettre en place afin de profiter des opportunités du véhicule électrique. À nouveau, le rythme d'occurrence de ces effets induits - obtenus par concertation avec des industriels du métier - et l'horizon temporel de leur évaluation dépendent de la rapidité avec laquelle ces acteurs se positionnent sur de nouveaux marchés. La livraison nocturne, par exemple, décrite par l'effet E_{210} et rendue possible par le fait qu'un moteur électrique et non plus thermique

peut permettre aux produits surgelés de conserver leur fraîcheur, et par conséquent ne plus être source de bruit pour les riverains assoupis, est une stratégie qui peut être quasi-immédiate en fonction de l’entente entre les livreurs et les commerces d’accueil. En revanche, l’effet E_{214} , qui imagine une diffusion accrue de la livraison par voie fluviale puis par véhicules électriques dans la démarche de la Mairie de Paris de « dé-dieselisation » du parc de véhicules utilitaires desservant Paris, sera probablement plus longue à intervenir, au vu de la diversité des acteurs en jeu - tant publics que privés - et des aménagements possibles de législation sur les transports fluviaux par exemple. Néanmoins, l’initiative proposée par la Chambre de Commerce et d’Industrie des Hauts-de-Seine à ce sujet est prometteuse, et les avancées d’un tel mode de livraison peuvent être plus rapides que prévues. Ces différents effets se traduisent par des coûts ponctuels et des bénéfices à moyen terme, au fur et à mesure qu’ont lieu les avancées de ces innovations de procédé et d’organisation en matière de livraisons.

$$\begin{aligned}
(\Delta_2^3 a_{7,8})_{E_{208}} &= -e_{7,1}^{\mathbb{P}_2, \mathbb{U}} + \epsilon_{7,1}^{\mathbb{P}_2, \mathbb{U}} \omega_{4,9, \mathbb{U}^*}^{\mathbb{P}_2} \\
&\dots \quad \dots \\
(\Delta_2^3 a_{7,8})_{E_{214}} &= -e_{7,7}^{\mathbb{P}_2, \mathbb{U}} + \epsilon_{7,7}^{\mathbb{P}_2, \mathbb{U}} \omega_{4,9, \mathbb{U}^*}^{\mathbb{P}_2}
\end{aligned} \tag{9.28}$$

L’effet induit E_{215} modélise l’accroissement de la clientèle et de l’utilité des commerces proches des bornes et des places réservées. Nous supposons par là que les consommateurs du service de recharge électrique seront nécessairement contraints de s’arrêter pendant le temps de recharge, et qu’ils auront plus tendance à mettre à profit ce temps à l’intérieur de commerces si ceux-ci sont à proximité. Les recettes engendrées par la seule présence d’une borne de recharge à proximité des commerces peuvent également avoir un effet *augmenté*, c’est-à-dire que les entrepreneurs peuvent souhaiter tirer profit de la présence de cette borne de recharge pour y installer (ou du moins à proximité) une stratégie publicitaire, qu’elle soit sous la forme de tracts, de panneaux, de réductions spécifiques pour une enseigne, ou même de gratuité de la charge pour un achat dans ladite enseigne. Cette quasi-appropriation de l’espace public (certes concédé dans le cas d’*Autolib’*) à des fins commerciales peut au moins avoir deux conséquences :

- d’une part, inciter le législateur à faire participer financièrement les entrepreneurs qui seraient susceptibles d’utiliser les bornes de recharge à des fins commerciales (par exemple celles qui sont proches des centres commerciaux) ;

— et, d'autre part, faire augmenter le prix du foncier à proximité de la borne de recharge, cette partie du territoire étant maintenant dotée d'une nouvelle ressource, qui permet de nouveaux usages en fonction de l'activation de cette ressource générique (Colletis et Pecqueur, 1993). Nous obtenons dans ce cas :

$$(\Delta_2^3 U(A_8))_{E_{215}} = \epsilon_{8,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \iint_{\Omega} \frac{1}{\|(\overline{a_{8,18}}(x, y) - \overline{\omega_{4,8}}(x, y))\|} dx dy \quad (9.29)$$

où la localisation $a_{8,18}$ des commerces est spatialisée afin de modéliser la distance aux bornes.

Les effets E_{216} et E_{217} décrivent les changements de logistique que des entreprises sont susceptibles de mettre en place afin de profiter des opportunités qui découlent de l'utilisation du véhicule électrique (E_{217}), mais aussi en raison de pertes d'activité (E_{216}). L'occurrence de ces effets induits dépend du nombre de véhicules électriques en circulation par rapport à celui des véhicules thermiques (notamment dans le cas de l'effet E_{216}), de la confiance qu'un entrepreneur a dans le système de mutualisation de flotte électrique (dans le cas de l'effet E_{217}) mais aussi à nouveau des externalités informationnelles qui rendent un usage plus attractif quand celui-ci est déjà efficace (Moore, 1996).

$$\begin{aligned} (\Delta_2^3 a_{8,8})_{E_{216}} &= -e_{8,2}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \\ (\Delta_2^3 a_{8,8})_{E_{217}} &= -e_{8,3}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} + \epsilon_{8,2}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \omega_{5,2} \end{aligned} \quad (9.30)$$

L'effet E_{218} note les charges accrues sur EDF pour l'entretien et les occasionnelles réparations sur les bornes. Cela implique aussi l'amplification de la distribution électrique $\omega_{3,5}$ dans la ville. Cet effet induit se produit quant à lui quasi immédiatement une fois qu'un nombre suffisant de véhicules électriques est en circulation.

$$\begin{aligned} (\Delta_2^3 a_{14,8})_{E_{218}} &= -\omega_{4,8} \left(1 + \epsilon_{14,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}}\right) e_{14,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \\ (\Delta_2^3 \omega_{3,5})_{E_{218}} &= \omega_{4,8} \end{aligned} \quad (9.31)$$

où $e_{14,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}}$ est le coût d'entretien régulier et $\epsilon_{14,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}}$ la fréquence de pannes nécessitant un entretien ponctuel.

Enfin il faut noter les effets induits E_{219} à E_{223} , concernant la société, *via* les modifications sur le territoire lui-même. La pollution atmosphérique et le niveau de bruit diminuent avec la

réduction de la circulation des véhicules thermiques, et la santé publique en ressent un impact positif. Cependant, si la fréquence d'accidents diminue avec la réduction de la circulation, elle augmente du fait des voitures silencieuses. Ces deux effets sont intimement liés au nombre de véhicules électriques en circulation, et ne dépendent essentiellement que de ce facteur, sous les hypothèses retenues avant le déroulement de l'analyse.

$$\begin{aligned}
(\Delta_2^3 \omega_{1,2})_{E_{219}} &= -\Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \notin V} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
(\Delta_2^3 U(A_{20}))_{E_{220}} &= \omega_{6,9} \Delta_2^3 \omega_{1,2} \\
(\Delta_2^3 \omega_{1,3})_{E_{221}} &= -\Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \notin V} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
(\Delta_2^3 U(A_{20}))_{E_{221}} &= \omega_{6,4} \Delta_2^3 \omega_{1,3} \\
(\Delta_2^3 \omega_{5,6})_{E_{222}+E_{223}} &= -\epsilon_{20,4}^{\mathbb{P}_{2,U}} \Delta_2^3 \left(\sum_{\mu} \omega_{4,2,\mu} \right) + \epsilon_{20,5}^{\mathbb{P}_{2,U}} \Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \in V^*} \omega_{4,2,\mu} \right)
\end{aligned} \tag{9.32}$$

où $\omega_{6,9}$ est la contribution de la santé individuelle à l'utilité de la société et $\omega_{5,6}$ la fréquence d'accidents de la circulation.

La dynamique de la période \mathbb{P}_2 est finalement :

$$\begin{aligned}
\Delta_2^3 \omega_{1,2} &= -\Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \notin V} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
\Delta_2^3 \omega_{1,3} &= -\Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \notin V} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
\Delta_1^2 \omega_{3,1,\nu} &= \omega_{3,1,b} \quad \forall \nu \in V^* \\
\Delta_2^3 \omega_{3,5} &= \omega_{4,8} \\
\Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \neq \text{ap}} \omega_{4,2,\mu} \right) &= -\Delta_2^3 \omega_{4,2,\text{ap}} \\
\Delta_2^3 \omega_{4,2,\text{ap}} &= \epsilon_{10,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} + \epsilon_{4,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \\
\Delta_2^3 \omega_{4,8} &= -e_{1,3}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \\
\Delta_2^3 \omega_{5,6} &= -\epsilon_{20,4}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \Delta_2^3 \left(\sum_{\mu} \omega_{4,2,\mu} \right) + \epsilon_{20,5}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \in V^*} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
\Delta_2^3 a_{1,8} &= -e_{1,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} - e_{1,2}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} - e_{1,3}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} p(\omega_{4,8}) - e_{1,5}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \\
\Delta_2^3 a_{4,8} + \Delta_2^3 a_{10,8} &= p(\text{ap}) \Delta_2^3 \omega_{4,2,\text{ap}} \\
\Delta_2^3 a_{7,8} &= -\sum_{\alpha=1}^7 e_{7,\alpha}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} + \omega_{4,9,\text{u}^*} \sum_{\alpha=1}^7 \epsilon_{7,7}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \\
\Delta_2^3 a_{8,8} &= -e_{8,2}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} - e_{8,3}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} + \epsilon_{8,2}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \omega_{5,2} \\
\Delta_2^3 U(A_8) &= \epsilon_{8,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \iint_{\Omega} \frac{dx dy}{|\overline{a_{8,18}}(x, y) - \overline{\omega_{4,8}}(x, y)|} \\
\Delta_2^3 a_{14,8} &= -\omega_{4,8} \left(1 + \epsilon_{14,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \right) e_{14,1}^{\mathbb{P}_2, \text{U}} \\
\Delta_2^3 U(A_{17}) &= \omega_{6,3} \Delta_2^3 \left(\sum_{\mu \neq \text{ap}} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
\Delta_2^3 U(A_{20}) &= \omega_{6,9} \Delta_2^3 \omega_{1,2} + \omega_{6,4} \Delta_2^3 \omega_{1,3}
\end{aligned}$$

9.3.4 La période \mathbb{P}_3

À la fin de la période \mathbb{P}_2 , le scénario retenu suppose que la pollution intra-urbaine a fortement diminué, et que les véhicules électriques sont en surnombre (la demande en bornes de recharge a dépassé l'offre), ce qui conduit à un changement de structure topo-économique.

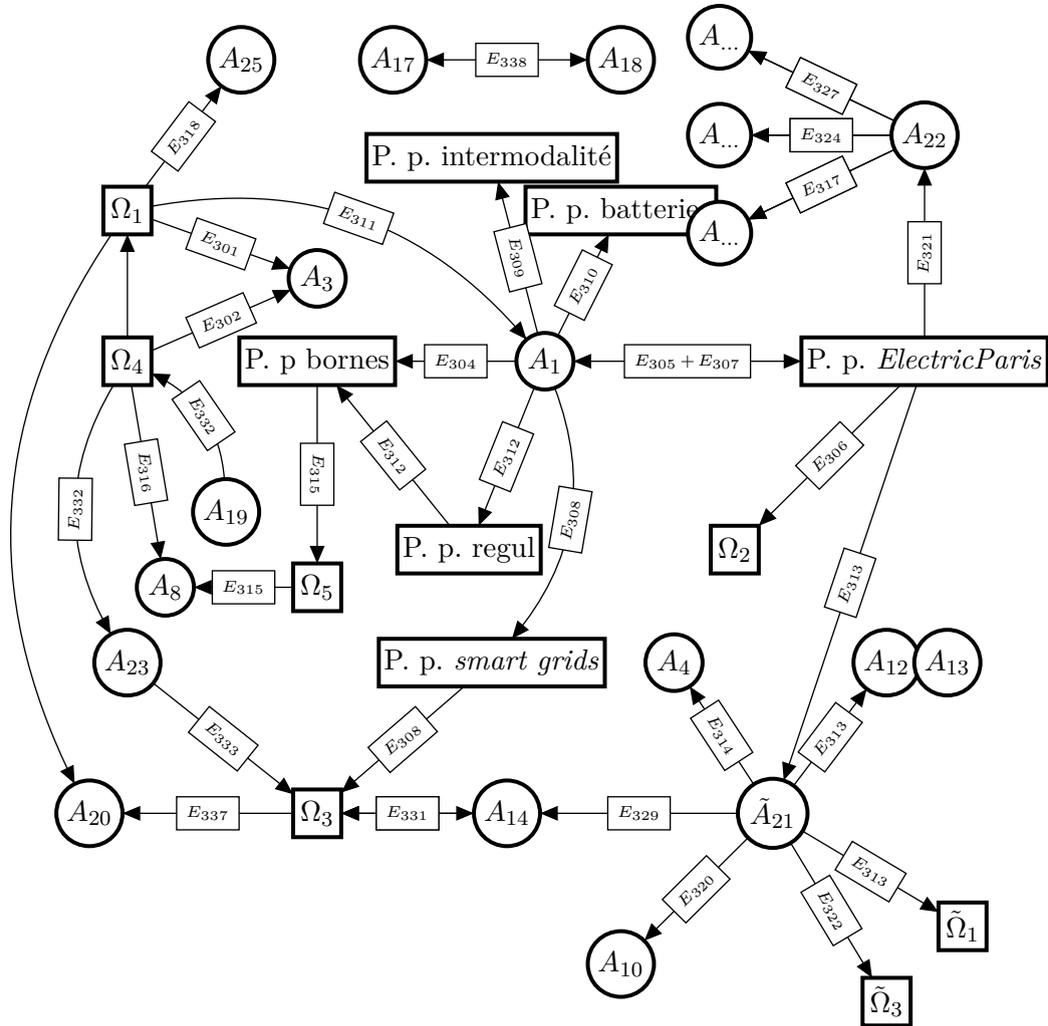


FIGURE 9.4 – Représentation graphique de la STE durant \mathbb{P}_3 .

L'effet E_{301} concerne l'abandon de politiques publiques à l'échelle de l'État, et peut être représenté comme un gain virtuel sur son budget prévisionnel. Il s'agit là d'un « *opportunity benefit* » tel que défini dans la section 4.6.2, dans le sens où le législateur n'a plus besoin de

mettre en place des politiques publiques qu'il aurait décidées dans le cas du scénario de référence. L'incertitude quant à l'occurrence de ces effets est directement liée aux résultats, ou du moins à la perception subjective de ces résultats par le décideur, de la politique publique de mise en place des bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris.

$$(\Delta_3^4 a_{3,8})_{E_{301}} = e_{3,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \quad (9.33)$$

L'effet E_{302} termine quant à lui l'effet E_{133} et se traduit simplement par $\eta^{\mathbb{P}_3} = 0$.

Toujours suivant les « *opportunity benefits* », la Ville gagne aussi en termes de budget prévisionnel (effets E_{303} et E_{311}) en évitant la mise en place de politiques envisagées auparavant.

$$\begin{aligned} (\Delta_3^4 a_{1,8})_{E_{303}} &= e_{1,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\ (\Delta_3^4 a_{1,8})_{E_{311}} &= e_{1,9}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \end{aligned} \quad (9.34)$$

De plus, elle doit poursuivre l'implémentation de bornes de recharge, en vue de la densification du réseau correspondant, afin de répondre à la demande. Nous supposons pour cet effet que le législateur, ici la collectivité locale, est le seul commanditaire de telles bornes et qu'il ne laisse pas cette activité au marché. Toutefois, comme nous l'avons imaginé dans la discussion sur l'effet E_{215} (voir l'équation ci-dessus 9.29), ce financement de nouvelles bornes de recharge peut être en partie privé en fonction des négociations entre le décideur et les acteurs privés.

$$\begin{aligned} (\Delta_3^4 \omega_{4,8})_{E_{304}} &= -e_{1,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\ (\Delta_3^4 a_{1,8})_{E_{304}} &= -e_{1,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} p(\omega_{4,8}) \end{aligned} \quad (9.35)$$

Les conséquences sur la pollution permettent de fonder une politique (que nous avons nommée *ElectricParis*, étant donné qu'elle découle d'un nouvel écosystème créé par la circulation croissante de véhicules électriques sur le territoire), qui attire des investisseurs et des partenariats (effet E_{305}), des personnes qualifiées (effet E_{307}) et des centres d'innovation et de recherche (effet E_{306}). Tout cela remplit l'objectif de l'acteur Ville $a_{1,3}$ et contribue à créer de nouvelles interactions (voir Figure 9.4, et notamment les nouveaux acteurs tel A_{22} qui émergent en même temps que les nouvelles activités et marchés). L'incertitude qui est relative à ces effets dépend de la véracité du scénario conçu et de sa comparaison avec les effets mesurés dans la réalité : si le

nombre de véhicules électriques augmente comme pressenti, l'incertitude quant à l'attractivité du territoire parisien comme détenteur de ressources supplémentaires sera très faible.

Par ailleurs, de nouvelles politiques publiques requièrent des frais :

- d'une part la régulation de l'utilisation des bornes se poursuit (effet E_{312}),
- et, d'autre part, des moyens d'optimiser l'usage de l'électricité urbaine, en l'occurrence des réseaux de distribution intelligents (ou *smart grids*, effet E_{308}), des systèmes d'intermodalité (effet E_{309}) pour pallier les inconvénients du temps de vie réduit des batteries électriques et la possibilité pour des entreprises de prendre en charge la gestion des bornes de recharge (opérateurs privés, effet E_{310}).

$$(\Delta_3^4 a_{1,8})_{E_{308}+E_{309}+E_{310}+E_{312}} = -e_{1,10}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \omega_{4,8}^{\mathbb{P}_3} - e_{1,6}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} - e_{1,7}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} - e_{1,8}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \quad (9.36)$$

L'effet E_{313} envisage la possibilité que le rayonnement de *ElectricParis* incite d'autres collectivités territoriales à mettre en place une politique de mobilité électrique. Ces collectivités sont rassemblées à ce stade dans l'acteur \tilde{A}_{21} , extérieur au territoire, qui est amené à collaborer avec la Ville *via* ses politiques publiques (voir Figure 9.4), sous la forme de partage de consultants, d'achat d'équipements... Cela demande dans un premier temps un investissement de leur part, mais l'exemple de Paris a des chances d'encourager la participation d'entreprises et de particuliers, et un gain en termes de dépollution peut se faire sentir à moyen terme.

$$\begin{aligned} (\Delta_3^4 \tilde{a}_{21,8})_{E_{313}} &= -e_{21,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\ (\Delta_3^4 \tilde{\omega}_{1,2})_{E_{313}} &= -\Delta_3^4 \left(\sum_{\mu \notin V} \tilde{\omega}_{4,2,\mu} \right) \end{aligned} \quad (9.37)$$

Ce phénomène se manifeste de manière particulièrement tangible pour le groupe *Bolloré*, qui est à même de proposer des systèmes et des véhicules d'auto-partage dans de nouvelles villes (effet E_{314} , ce qui représente un accroissement de revenu). Par ailleurs, l'apparition d'une concurrence peut aussi se faire sentir pour ce groupe, et d'autres opérateurs tels que *Citiz*, ayant déjà ou pas une expérience dans l'auto-partage avec des véhicules thermiques, peuvent être attirés par ce marché prometteur et développer des offres concurrentes dans d'autres villes ou

métropoles.

$$(\Delta_3^4 a_{4,8})_{E_{314}} = e_{4,1}^{\mathbb{P}_{3,U}} \quad (9.38)$$

Les commerces et entreprises existantes continuent à être affectées. L'effet E_{315} voit changer la logistique en fonction de la localisation des commerces, relativement aux bornes, en corollaire à l'effet E_{215} .

$$(\Delta_3^4 U(A_8))_{E_{315}} = -\epsilon_{8,1}^{\mathbb{P}_{3,U}} \iint_{\Omega} \|\overline{a_{8,18}}(x,y) - \overline{\omega_{4,8}^{\mathbb{P}_3}}(x,y)\| dx dy \quad (9.39)$$

La fermeture des entreprises liées à la voiture thermique (stations-service et certains garages) modifie en retour les ressources disponibles sur le territoire, donnant plus de raisons aux usagers des véhicules thermiques à passer à l'électrique (effet E_{316}). Notant $\omega_{5,7}$ la densité des ressources utiles propres aux véhicules thermiques dans Ω , nous obtenons :

$$\begin{aligned} (\Delta_3^4 \omega_{5,7})_{E_{316}} &= -e_{8,2}^{\mathbb{P}_{3,U}} \\ (\Delta_3^4 \omega_{4,7,\nu \rightarrow \nu^*})_{E_{316}} &= \epsilon_{8,2}^{\mathbb{P}_{3,U}} \quad \forall \nu \in V \end{aligned} \quad (9.40)$$

L'effet E_{318} concerne directement la santé des citoyens, dont l'amélioration entraîne une baisse des ventes pour l'industrie pharmaceutique. Évidemment, l'incertitude quant à l'occurrence de cet effet dépend de l'ampleur du changement de santé et il est possible que la valorisation monétaire de cet effet dans cette analyse ne fournisse que des résultats négligeables par rapport aux coûts directs par exemple. Nous pensons néanmoins, dans une perspective de prise en compte de l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées dans cet outil d'aide à la décision, qu'il est important de noter et de mesurer cet effet, avec bien sûr la formulation de toutes les hypothèses de manière transparente, afin que, d'une part à court terme, le décideur puisse choisir s'il souhaite ou non prendre en considération cet effet dans sa décision et, d'autre part, à moyen terme, cette analyse puisse être utile à une adaptation ou une modulation de la politique publique, dont les enjeux et les changements seraient plus importants, et pour lesquels l'effet E_{318} ne pourrait plus être envisagé comme négligeable par rapport aux autres.

$$(\Delta_3^4 U(A_8))_{E_{318}} = -\epsilon_{8,4}^{\mathbb{P}_{3,U}} \omega_{6,9}^{\mathbb{P}_3} \quad (9.41)$$

En revanche, toute une variété d'activités émergent et donnent lieu à l'apparition d'un nouvel écosystème (Moore, 1996) et d'entreprises, que nous rassemblons en l'acteur A_{22} . Sur la Figure 9.4, A_{22} apparaît avec plusieurs connexions à des clients (non nécessairement distincts) dont chacune indique une activité économique différente, qu'énumèrent les effets E_{317} et E_{319} à E_{328} . Les répercussions sur les conditions topo-économiques sont potentiellement nombreuses, et concernent principalement Ω_4 , puis indirectement Ω_1 et Ω_5 .

Dans la ligne de la politique des *smart grids*, *EDF* (*EDF-Sodetrel*) organise leur implémentation et commence à en recevoir des bénéfices du fait de l'optimisation de la distribution électrique (effets E_{330} et E_{331}).

$$(\Delta_3^4 a_{14,8})_{E_{330}+E_{331}} = -e_{14,2}^{\mathbb{P}_{3,U}} + \epsilon_{14,3}^{\mathbb{P}_{3,U}} \omega_{3,5} \quad (9.42)$$

où $\omega_{3,5}$, la densité de la ressource électricité dans la ville, modélise le fait que le bénéfice dû aux nouveaux types de réseaux est proportionnel à l'électricité fournie par *EDF*.

Par ailleurs, comme dans le cas du groupe *Bolloré* (effet E_{314} à l'équation 9.38) et du fait de son expérience avec Paris, *EDF* peut se présenter comme un bon candidat pour l'implémentation, le conseil et la gestion de bornes de recharge pour véhicules électriques, et de *smart grids* par la suite, dans d'autres métropoles, françaises ou étrangères. L'effet E_{329} matérialise le bénéfice qu'*EDF* en retire, d'abord comme frais de conseil puis pour la gestion à long terme ; celui des autres villes \tilde{A}_{21} est probablement positif mais nous le laissons pour une étude plus fine (il faut bien sûr tenir compte de la structure topo-économique de leur propre territoire, et de leurs spécificités locales à implémenter des politiques et à aménager leur espace urbain par exemple).

$$(\Delta_3^4 U(A_{14}))_{E_{329}} = -e_{14,1}^{\mathbb{P}_{3,U}} + \epsilon_{14,1}^{\mathbb{P}_{3,U}} \tilde{\omega}_{3,5} \quad (9.43)$$

Les comportements des voyageurs et usagers des transports publics se modifient : dans la mesure où l'intermodalité fonctionne bien et l'auto-partage devient populaire, les habitudes des usagers les conduisent à prendre plus fréquemment le train (effet E_{332}), sachant qu'ils pourront à l'aller comme au retour utiliser les véhicules du système d'auto-partage des territoires correspondants si nécessaire. Cela suppose également une compatibilité des systèmes entre les

différentes collectivités. Concrètement, le coût à la *SNCF* relatif à l'implémentation de nouvelles lignes ou horaires s'ajoute à celui consistant à installer des bornes plus systématiquement à proximité des stations de métro/RER et gares (effet E_{333}); mais le revenu s'accroît aussi.

$$\begin{aligned}
(\Delta_3^4 \omega_{4,2,t})_{E_{332}} &= e_{19,1}^{\mathbb{P}_3,U} \\
(\Delta_3^4 \omega_{4,7,\nu \rightarrow t})_{E_{332}} &= \epsilon_{19,1}^{\mathbb{P}_3,U} \quad \forall \nu \in V \\
(\Delta_3^4 \omega_{4,8})_{E_{333}} &= \omega_{4,6,t} \\
(\Delta_3^4 a_{23,8})_{E_{332}+E_{333}} &= -p(\omega_{4,8}) (\Delta_3^4 \omega_{4,8})_{E_{333}} - e_{23,2}^{\mathbb{P}_3,U} + \epsilon_{23,1}^{\mathbb{P}_3,U} (\Delta_3^4 \omega_{4,2,t})_{E_{332}}
\end{aligned} \tag{9.44}$$

avec $e_{19,1}^{\mathbb{P}_3,U}$ notant le nombre de nouveaux utilisateurs du train, $\epsilon_{19,1}^{\mathbb{P}_3,U}$ le taux d'augmentation de la préférence pour le train, $e_{23,2}^{\mathbb{P}_3,U}$ le coût fixe pour la *SNCF* concernant ces installations et $\epsilon_{23,1}^{\mathbb{P}_3,U}$ le bénéfice réalisé en proportion des nouveaux usagers.

Les comportements des citoyens sont affectés d'autres manières. Il faut envisager que le prix de l'immobilier augmente à proximité des bornes (effet E_{334}), de sorte que la ressource immobilière est modifiée à l'échelle de chaque quartier. Cela peut conduire à des perturbations dans les budgets des résidents ou, plus probablement, à des choix d'emménagement altérés, inconvénient qui peut être incorporé à l'utilité de cet acteur. En notant $\overline{\omega_{5,5}}$ le montant médian du loyer, grandeur spatialisée, nous obtenons :

$$\begin{aligned}
(\Delta_3^4 \overline{\omega_{5,5}}(x,y))_{E_{334}} &= \frac{e_{19,1}^{\mathbb{P}_3,U}}{\|(\overline{\omega_{5,5}}(x,y) - \overline{\omega_{4,8}}(x,y))\|} \\
(\Delta_3^4 U(A_{19}))_{E_{334}} &= -\epsilon_{19,1}^{\mathbb{P}_3,U} \iint_{\Omega} \frac{1}{\|\overline{a_{19,18}}(x,y) - \overline{\omega_{5,5}}(x,y)\|} dx dy
\end{aligned} \tag{9.45}$$

où $\overline{a_{19,18}}$ désigne les lieux de résidence des citoyens.

L'effet E_{338} décrit comment la fréquence de rencontre d'utilisateurs de véhicules électriques peut conduire leurs prochains à vouloir « entrer dans ce club », ce qui signifie que la possession d'un véhicule électrique s'auto-entretient (Dupuy, 1993, 2002) :

$$(\Delta_3^4 \omega_{4,7,\nu \rightarrow \nu^*})_{E_{338}} = \epsilon_{20,2}^{\mathbb{P}_3,U} \omega_{4,9,\nu} \omega_{4,9,\nu^*} \tag{9.46}$$

Par ailleurs, les effets concernant la société et le territoire ne changent pas dans leur expression : sélectionnons la santé et la pollution comme exemples des relations permanentes, où les grandeurs évoluent en accord avec l'utilisation progressive de véhicules électriques.

$$\begin{aligned}
\Delta_3^4 \omega_{1,2} &= -\Delta_3^4 \left(\sum_{\mu \notin V^\dagger} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
\Delta_3^4 U(A_{20}) &= \omega_{6,9} \Delta_2^3 \omega_{1,2} \\
\Delta_3^4 \omega_{1,3} &= -\Delta_3^4 \left(\sum_{\mu \notin V^\dagger} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
\Delta_3^4 U(A_{20}) &= \omega_{6,4} \Delta_3^4 \omega_{1,3}
\end{aligned} \tag{9.47}$$

Finalement, la dynamique de la période \mathbb{P}_3 peut s'écrire, en regroupant les caractéristiques :

$$\begin{aligned}
\Delta_3^4 \omega_{1,2} &= -\Delta_3^4 \left(\sum_{\mu \notin V^\dagger} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
\Delta_3^4 \omega_{1,3} &= -\Delta_3^4 \left(\sum_{\mu \notin V^\dagger} \omega_{4,2,\mu} \right) \\
\Delta_3^4 \omega_{4,2,t} &= e_{19,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\
\Delta_3^4 \omega_{4,7,\nu \rightarrow \nu^*} &= \epsilon_{8,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} + \epsilon_{20,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \omega_{4,9,\nu} \omega_{4,9,\nu^*} \quad \forall \nu \in V \\
\Delta_3^4 \omega_{4,7,\nu \rightarrow t} &= \epsilon_{19,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \quad \forall \nu \in V \\
\Delta_3^4 \omega_{4,8} &= -e_{1,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} + \omega_{4,6,t} \\
\Delta_3^4 \overline{\omega_{5,5}}(x, y) &= \frac{e_{19,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}}}{|(\overline{\omega_{5,5}}(x, y) - \overline{\omega_{4,8}}(x, y))|} \\
\Delta_3^4 \omega_{5,7} &= -e_{8,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\
\\
\Delta_3^4 a_{1,8} &= e_{1,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} + e_{1,9}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} - e_{1,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} p(\omega_{4,8}) - \epsilon_{1,10}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \omega_{4,8}^{\mathbb{P}_3} - e_{1,6}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} - e_{1,7}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} - e_{1,8}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\
\Delta_3^4 a_{3,8} &= e_{3,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\
\Delta_3^4 \tilde{a}_{21,8} &= -e_{21,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\
\Delta_3^4 a_{4,8} &= e_{4,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \\
\Delta_3^4 U(A_8) &= -\epsilon_{8,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \iint_{\Omega} |\overline{a_{8,18}}(x, y) - \overline{\omega_{4,8}}(x, y)| dx dy - \epsilon_{8,4}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \omega_{6,9}^{\mathbb{P}_3} \\
\Delta_3^4 a_{14,8} &= -e_{14,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} + \epsilon_{14,3}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \omega_{3,5} \\
\Delta_3^4 U(A_{14}) &= -e_{14,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} + \epsilon_{14,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \tilde{\omega}_{3,5} \\
\Delta_3^4 U(A_{19}) &= -\epsilon_{19,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} \iint_{\Omega} \frac{dx dy}{|\overline{a_{19,18}}(x, y) - \overline{\omega_{5,5}}(x, y)|} \\
\Delta_3^4 a_{23,8} &= -p(\omega_{4,8}) \Delta_3^4 \omega_{4,8} - e_{23,2}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} + \epsilon_{23,1}^{\mathbb{P}_3, \text{U}} (\Delta_3^4 \omega_{4,2,t})
\end{aligned}$$

9.4 Valorisation monétaire : résultats et discussion

9.4.1 Version raccourcie de CoBAYe

Les résultats de l'évaluation de la politique de mise en place des bornes de recharge électrique à Paris sont présentés dans les deux sections précédentes 9.2 et 9.3. Toutefois, comme les résultats sont nombreux, nous proposons, à des fins de lecture rapide, d'identifier et de présenter certains effets qui sont plus pertinents pour le processus d'évaluation selon CoBAYe, en fonction des

critères suivants⁸. Cette version ne remplace aucunement la section 9.2 bien sûr, mais elle donne d'une part une vision d'ensemble de ce qui peut être réalisé avec cet outil et, d'autre part, un premier ordre de grandeur - comme ferait un « résumé pour décideurs » dans un rapport d'études par exemple.

Les critères que nous avons utilisés pour faire un tri de l'identification complète des effets de la section 9.2 sont les suivants :

- Le *degré de restitution du poids des acteurs économiques*, c'est-à-dire que chaque acteur a, dans la mesure du possible, la même quantité d'effets affichés dans la version raccourcie de CoBAYe.
- Le *degré d'interdépendances*, c'est-à-dire que les effets affichés essaient de montrer au lecteur les interdépendances entre politiques publiques et stratégies privées.
- Le *degré d'incertitude*, qui signifie par exemple que certains effets n'iraient pas jusqu'à la période \mathbb{P}_4 , leur incertitude étant assez élevée.
- Le *degré de pertinence*, c'est-à-dire que les effets affichés dans la version raccourcie de CoBAYe ont pour but de montrer au lecteur les effets qui peuvent être identifiés, indépendamment de leur importance relative aux autres.
- Enfin, le *degré de la politique*, qui indique que les effets affichés ne se résument pas à l'objectif de la politique (la réduction de la pollution à Paris).

Par conséquent, et moyennant ces critères, une version raccourcie du tableau d'analyse dynamique de l'outil CoBAYe est présenté en Figure 9.5. Les horizons temporels d'évaluation correspondants sont présentés en Figure 9.6.

9.4.2 Tableau des effets de la version raccourcie de CoBAYe

Ce Tableau est présenté en Figure 9.5.

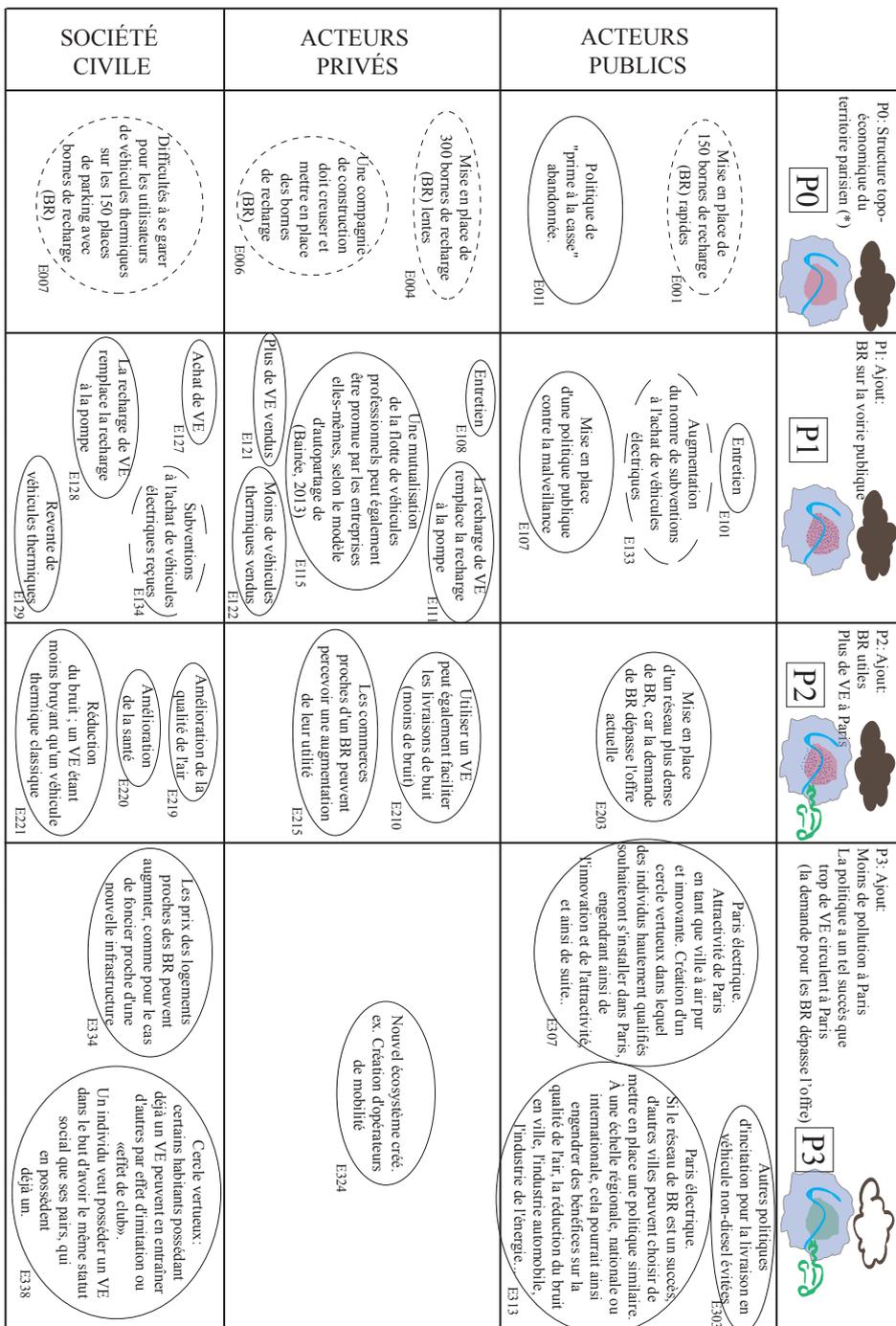
9.4.3 Hypothèses retenues pour la valorisation monétaire

Deux scénarios ont été choisis pour l'exercice de valorisation monétaire⁹ :

8. Nous créons ainsi une version raccourcie de la frise de CoBAYe.

9. L'élaboration des deux scénarios peut bien sûr être discutée. Par exemple, en reprenant les 150 bornes installées par la ville de Paris, d'aucuns peuvent estimer si les hypothèses sont vraisemblables : les 150 bornes sont supposées servir de stationnement nocturne à des particuliers. Dans l'hypothèse optimiste où chacune d'elle est

CoBAYe: évaluation de la mise en place du réseau de bornes de recharge (BR) pour véhicules électriques (VE) à Paris (quelques effets)



(*) Cette structure du territoire comprend notamment la topographie, la population, les infrastructures, les bassins de logements, les zones d'emploi, le nombre, l'implantation et la diversité des entreprises et commerces, la population (âge, caractéristiques), les motifs de déplacement, le taux de possession automobile, les routes et les caractéristiques des déplacements pour affaires et à des fins de loisirs, le gouvernement ou la législation par exemple.



FIGURE 9.5 – Version raccourcie de l’analyse dynamique de CoBAYe, mettant en évidence la propagation de quelques effets au cours de différentes STE en fonction de trois classes d’acteurs : les acteurs publics, les acteurs privés et la société civile. Bien sûr, un partage plus fin de ces acteurs peut être effectué.

MOIS EFFETS	T0	12	13	24	25	36	37	48
Acteurs publics								
E001	t* ₀₀₁ ↔							
E011			t* ₀₁₁ ↔					
E101							t* ₁₀₁ ↔	
E107			t* ₁₀₇ ↔					
E133			t* ₁₃₃ ↔					
E203					t* ₂₀₃ ↔			
E303					t* ₃₀₃ ↔			
E307							t* ₃₀₇ ↔	
E313							t* ₃₁₃ ↔	

Acteurs privés								
E005	t* ₀₀₅ ↔							
E007	t* ₀₀₇ ↔							
E108							t* ₁₀₈ ↔	
E111							t* ₁₁₁ ↔	
E115							t* ₁₁₅ ↔	
E121							t* ₁₂₁ ↔	
E122							t* ₁₂₂ ↔	
E210							t* ₂₁₀ ↔	
E215							t* ₂₁₅ ↔	
E324							t* ₃₂₄ ↔	

Société civile								
E008							t* ₀₀₈ ↔	
E127							t* ₁₂₇ ↔	
E128							t* ₁₂₈ ↔	
E129							t* ₁₂₉ ↔	
E134			t* ₁₃₄ ↔					
E219							t* ₂₁₉ ↔	
E220							t* ₂₂₀ ↔	
E221							t* ₂₂₁ ↔	
E334							t* ₃₃₄ ↔	
E338							t* ₃₃₈ ↔	

FIGURE 9.6 – Cette figure présente les horizons temporels d'évaluation t^* des effets sus-mentionnés dans la version raccourcie de CoBAYe. Ces horizons temporels sont déterminés par concertation avec l'ensemble des acteurs présents lors du processus d'analyse et validés par la suite par le décideur.

1. d'une part, un scénario « *limite inférieure* » selon lequel le réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques ne provoquerait que 400 de ces véhicules achetés les deux premières années, 600 pendant la troisième année et 800 la suivante ;
2. d'autre part, un scénario « *limite supérieure* » selon lequel le réseau induirait approximativement l'usage de deux ou trois véhicules électriques pour chaque borne créée pendant les deux premières années, et de même ces nombres augmentent progressivement mais linéairement jusqu'à la quatrième année.

Ces scénarios n'influent donc pas sur la valeur monétaire des biens, marchands ou non-marchands, mais plutôt sur l'ampleur des effets considérés.

En ce qui concerne les valeurs utilisées pour la valorisation monétaire de tous les effets présentés à la Figure 9.5, elles sont extraites de rapports des institutions publiques françaises (Boîteux, 2001; Baumstark, 2007; Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective (CGSP), 2013), européennes (CE DELFT, 2008; Centre for Economics and Business Research Ltd, 2012) ou internationales (INFRAS/IWW, 2004; OCDE, 2007) mais proviennent aussi d'entretiens

occupée par un véhicule électrique la nuit, on pourrait penser que chaque borne peut alors conduire au maximum à l'achat d'un véhicule électrique. En effet, il est difficile d'imaginer une situation où un particulier ressortirait le soir après avoir chargé son véhicule pour se trouver une autre place - cette recherche annulerait d'ailleurs son avantage en termes de recherche de place de stationnement. Le nombre d'achats de particuliers étant ainsi limité, il faudrait alors un nombre considérable d'achats de véhicules électriques par des professionnels pour arriver aux hypothèses indiquées. Cette critique s'envisage ainsi uniquement en termes de lien direct entre l'achat d'un véhicule électrique et la recharge à une borne spécifique. Toutefois, comme présenté en section 9.1.3, nous pensons qu'un usager peut décider d'acheter un véhicule électrique et le recharger à domicile ou sur son lieu de travail, mais la présence de la borne n'en est pas moins essentielle : elle lui confère l'assurance qu'il sera en mesure de recharger son véhicule en ville en cas d'imprévu, ce qui lui donnera la confiance nécessaire pour acheter et utiliser un véhicule électrique en zone urbaine. Par ailleurs, une critique peut également émaner quant aux raisons qui justifieraient que la présence de bornes de recharge pour véhicules électriques inciterait à leur achat. La ville de Paris disposait déjà d'un réseau de bornes (certes très faible en volume et essentiellement en stations-services et en garages souterrains, pas sur la voirie), qui n'avait pas conduit à l'achat de nombreux véhicules électriques : d'autres facteurs explicatifs du manque d'engouement pour le véhicule électrique étaient alors envisagés, comme l'absence d'une offre, ou d'un réseau de bornes pas nécessairement adapté. Nous pensons que des facteurs psychologiques sont également à prendre en considération, comme la relation de confiance que peut avoir un usager face à une innovation. Ces raisons expliquent pourquoi nous précisons, à nouveau, que les hypothèses qui ont été retenues sont les mêmes que celles de Proag et Bainée (2014b) et n'appartiennent ainsi qu'à leurs auteurs. Au cours d'une séance de concertation telle que préconisée par l'outil CoBAYe et décrite en section 7.2, ce sont les acteurs participant au processus eux-mêmes qui auraient contribué à construire ces scénarios : les hypothèses qu'ils auraient retenues auraient donc été plus fidèles à leur rationalité, et l'interprétation des résultats obtenus en section 9.4 aurait par conséquent été plus fiable pour être présentée en tant qu'évaluation *ex-ante* de la politique publique de création de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris.

menés avec des praticiens (urbanistes, ingénieurs, économistes, sociologues notamment) et des actualités au sujet du véhicule électrique. Nous avons donc pris les données suivantes¹⁰ :

- 150 bornes de recharge accélérée, chacune ayant un coût de 15 000 euros¹¹.
- 300 bornes de recharge « normales », chacune ayant un coût de 5 000 euros.
- Le salaire annuel d'un cadre est estimé à environ 40 000 euros bruts à Paris.
- La perte moyenne du temps passé à la recherche d'une place de parking estimée à 15 minutes.
- Les bénéfices de la prime à la casse estimés à 1 500 euros.
- Les coûts d'entretien annuels sont pris égaux à 5% du coût d'investissement initial.
- La durée moyenne d'une charge électrique quotidienne estimée à 2 heures, en particulier pour les bornes de recharge accélérée.
- Nous avons procédé à une hypothèse forte sur la répartition des véhicules électriques achetés : 50% par les entreprises privées et 50% par les consommateurs privés (des particuliers), prolongeant ainsi les souhaits formulés par le Maire de Paris au Conseil de novembre 2013, dans son objectif de stimuler l'usage privé des véhicules électriques.
- Le prix d'une voiture électrique a été choisi comme le prix de la *Renault Fluence ZE*, parce que la comparaison avec sa « jumelle » thermique, la *Renault Fluence*, est automatique : 26 000 euros par rapport à 20 000 respectivement¹².
- La subvention de l'achat de véhicules électriques est de 6 300 euros, en prenant l'hypothèse que cette politique de subventions ne dure que deux ans après la mise en œuvre du réseau de bornes de recharge.
- Entre 1 000 et 5 000 emplois sont créés en trois ans grâce au nouvel écosystème engendré (hypothèse forte)¹³.

10. A nouveau, les valeurs choisies reflètent les hypothèses de l'auteur. Si l'étape optionnelle de valorisation monétaire est requise par le décideur, le cortège de participants sera alors bien sûr en mesure de souhaiter la prise en considération d'autres valeurs et d'indiquer ses préférences sur les *post-it* lors du processus de concertation, comme décrit en section 7.2.

11. La Mairie de Paris a voté un budget de 3 millions d'euros pour la création de ces bornes. Par ailleurs, les valeurs précisées dans le rapport Nègre (2011) semblent corroborer cet ordre de grandeur.

12. Nous sommes conscients que le choix de la *Renault Fluence* peut également être discuté, notamment parce qu'elle ne s'est pas beaucoup vendue et n'est pas complètement adaptée à une circulation urbaine. Ainsi, même si elle n'est pas le véhicule de référence idéal, elle a l'avantage de correspondre aux mêmes acheteurs potentiels et nous pensons que le choix opéré ne nuit pas au raisonnement global.

13. Cette hypothèse prend également en compte des emplois créés sur le territoire national (l'entreprise qui fabrique les bornes de recharge parisiennes serait sans doute la *Douaisienne de Basse Tension* (DBT), située à

- La valeur de la vie humaine est prise égale à 1 million d’euros (une discussion éthique est toujours possible)¹⁴.
- La pollution locale représente 4 mois de vie perdus (InVS, 2011).
- Nous estimons que les personnes touchées par la pollution locale atmosphérique sont principalement les conducteurs eux-mêmes ou les passagers sur le trafic routier.
- Enfin, le taux d’actualisation choisi est de 2%¹⁵.

9.4.4 Résultats

Résultats graphiques

A titre d’exemple, la Figure 9.7 présente les valorisations monétaires de quelques-uns des effets présentés à la Figure 9.5 : la représentation choisie permet de mettre en évidence les bornes inférieure et supérieure de chacun de ces effets. L’effet E_{121} , par exemple, caractérise la valeur des véhicules électriques vendus à la période \mathbb{P}_1 , qui varie entre 58 millions et 162 millions d’euros (avec les scénarios respectivement de borne inférieure et de borne supérieure). Ces valeurs peuvent être obtenues en reprenant les mêmes scénarios que ceux présentés en Figure 7.5 pour l’effet E_{129} :

1. Dans le scénario $S1$ (borne inférieure), 400 véhicules sont achetés pendant les deux premières années, ce qui correspond pour chaque année à un peu moins d’un véhicule par borne, puis nous avons anticipé une augmentation linéaire avec le temps, pour arriver à 800 véhicules achetés à Paris pendant la quatrième année qui a suivi la création du réseau de bornes de recharge. Ces achats entraîneraient d’ailleurs une augmentation de la demande par rapport à l’offre, qui se traduiraient par l’hypothèse d’une densification de ce réseau de bornes de

Douai. Il faut donc considérer une répartition des emplois créés comme des bénéfiques pour les territoires parisien (acteur A_1) et national (acteur A_3).

14. Les valeurs des pays de l’OCDE se situent entre 1,5 et 4,5 millions de dollars américains (année 2005) d’après (Baumstark *et al.*, 2013).

15. Les pays européens, dont la France, travaillent en général avec des taux d’actualisation bas aujourd’hui, de 3 à 6% généralement (OCDE, 2011). Pour cette étude, nous avons volontairement choisi un taux d’actualisation légèrement inférieur pour ne pas pénaliser quelques-uns des bénéfiques (en particulier en période \mathbb{P}_3) qui ont lieu sur le long terme, comme la mise en place d’un nouvel écosystème lié à la diffusion du véhicule électrique grâce à laquelle de nouvelles activités privées peuvent naître (effets E_{319} à E_{328} inclus). Ce choix reflèterait ainsi une vision à long terme des décideurs, comme dans le cas des politiques de réduction du changement climatique, pour lesquelles la valeur du présent ne doit pas être démesurément plus importante que celle du futur. Bien sûr, lors d’une séance de concertation du processus CoBAYe, telle que définie en section 7.2, les participants ou le décideur peuvent eux-mêmes décider du taux d’actualisation qui leur paraît le plus adéquat, ou demander une étude de sensibilité en fonction de plusieurs taux d’actualisation différents.

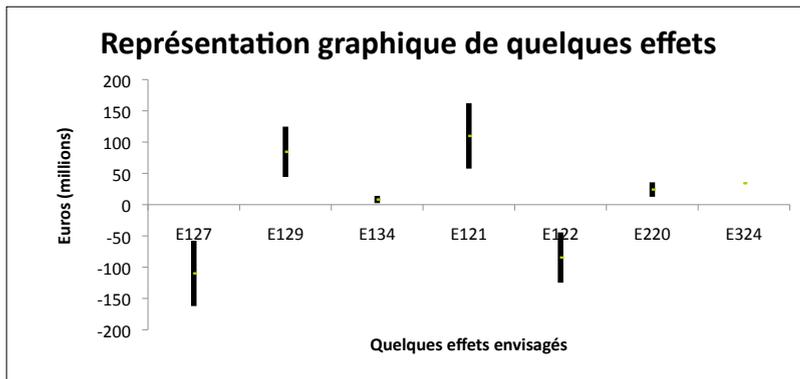
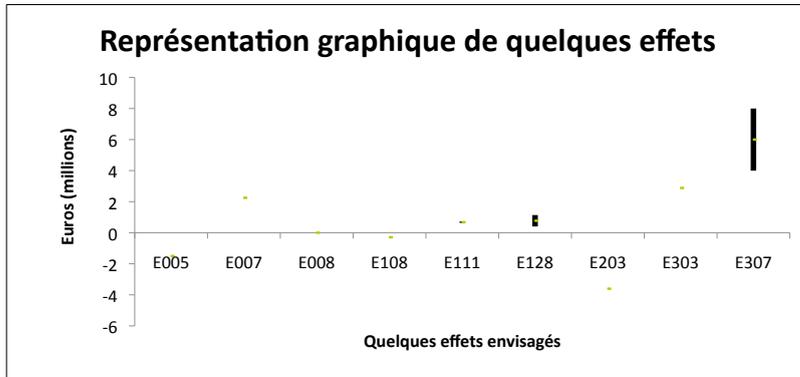


FIGURE 9.7 – Représentation graphique de la valorisation monétaire de quelques effets présentés dans la version raccourcie de CoBAYe.

recharge à la période suivante \mathbb{P}_2 (effet E_{203}). Avec les valeurs monétaires mentionnées en section 9.4.3, nous obtenons un coût d'achat d'environ 58 millions d'euros.

2. Dans le scénario $S2$ (borne supérieure), nous faisons l'hypothèse forte pendant les deux premières années, de cinq véhicules électriques achetés pour chaque couple de bornes (donc 1125 pour la première année), en supposant ainsi une recharge continue pendant la journée. Par la suite, comme dans le scénario $S1$, nous anticipons une augmentation linéaire pour doubler ce nombre à la quatrième année, en envisageant également toujours une création supplémentaire du nombre de bornes avec l'effet E_{203} . En utilisant la valeur du prix des véhicules électriques (avec l'hypothèse forte d'invariance sur cette période), nous obtenons une valeur de 162 millions d'euros.

Les deux scénarios peuvent être entendus comme *positifs*, en ce sens que la mise en œuvre du réseau de bornes de recharge a induit l'achat et l'usage de véhicules électriques. Il s'agit d'une hypothèse forte et, bien sûr, d'autres scénarios pourraient être - par exemple - mis en place afin d'évaluer les effets de cette politique s'il n'y a toujours pas de véhicule électrique acheté (ou en tout cas en nombre différent que prévu initialement). Par ailleurs, étant donné que le modèle utilisé pour la valorisation monétaire - jusqu'à l'horizon temporel d'évaluation - est linéaire, une évaluation concomitante ou *ex-post* pourrait aussi facilement être réalisée sur cette politique une fois que le réseau est mis en place et opérationnel.

Enfin, les scénarios et les hypothèses correspondantes ne sont que le résultat du travail de recherches actuelles et s'inspirent de (Proag et Bainée, 2014a) et de (Proag et Bainée, 2014b). Par conséquent, bien que ce travail a été largement soutenu par des entretiens réalisés avec des praticiens, nous croyons que la meilleure façon d'obtenir un scénario pertinent serait celui proposé par l'outil d'aide à la décision CoBAYe, c'est-à-dire un processus de concertation au moyen d'une mise en situation réelle des décideurs et des acteurs concernés par la politique, qu'ils soient analystes, évaluateurs, praticiens publics ou privés, pendant au moins une demi-journée, et pendant laquelle chacun fait part des comportements et stratégies envisagés afin que, à l'issue de la concertation, le scénario de projet et les effets identifiés soient les plus proches de ce qui a été imaginé par les parties prenantes dans leur ensemble.

Ainsi, sous couvert de ces hypothèses, une brève description des résultats est présentée en Figures 9.8 et 9.9 en fonction de scénarios de valorisation monétaire mentionnés ci-dessus, et en suivant les étapes de l'outil d'aide à la décision CoBAYe¹⁶, telles que présentées dans le Chapitre 7. Les résultats décrits et discutés dans la section 9.4.5 suivante ne sont qu'un exemple illustratif de ce qui peut être obtenu au moyen de l'étape optionnelle de valorisation monétaire de l'outil CoBAYe. Le choix, par exemple, de diviser l'ensemble des acteurs de la frise présentée en section 9.2 en uniquement trois catégories : « acteurs publics », « acteurs privés » et « société civile » peuvent être discutés (les gains et les pertes de la Ville de Paris et du gouvernement national, par exemple, correspondent à deux budgets différents aux objectifs souvent variés même si souvent complémentaires) et c'est la raison pour laquelle nous pensons que c'est le décideur qui doit déterminer les acteurs qui lui semblent les plus pertinents à étudier à l'issue du processus de concertation.

9.4.5 Discussion

La société civile

Selon la figure 9.8, la société civile fait déjà partie des bénéficiaires dans les premières années après la mise en œuvre de la politique en raison de l'achat des véhicules électriques, qui sont « seulement » un cinquième plus cher que ceux thermiques, et qui auraient été achetés dans le scénario de référence (ou vendus d'occasion dans le scénario du projet), ce à quoi nous avons aussi ajouté les subventions à l'achat obtenues du gouvernement national. Ce scénario est à nuancer, puisqu'il a également envisagé un achat conséquent de véhicules électriques dans les deux premières années (cinq fois le nombre de bornes de recharge). Par ailleurs, dans le futur, nous pouvons supposer que le coût des véhicules électriques (sans subventions) sera progressivement plus faible à mesure que les constructeurs automobiles évoluent dans leur « courbe d'apprentissage » technologique (Wright, 1936). Cet horizon temporel est néanmoins encore inconnu, et c'est la

16. Certaines des valeurs qui mènent aux résultats ont été obtenues en première approximation. Dans l'évaluation de l'effet E_{121} par exemple, c'est-à-dire les gains perçus par l'industrie automobile française grâce aux ventes de véhicules électriques, le modèle suppose que le différentiel de prix entre véhicules électriques et thermiques revient intégralement au constructeur. Il s'agit d'une hypothèse simplificatrice, car il faudrait en réalité prendre en compte le bénéfice marginal par véhicule vendu, qui pourrait être plus élevé pour un véhicule thermique, au vu des surcoûts transitoires sur les véhicules électriques. Par ailleurs, il faudrait aussi tenir compte du *leasing* de la batterie, c'est-à-dire des paiements reçus par le constructeur (le *lessor*) en échange de l'usage de la batterie par l'acheteur du véhicule (le *lessee*) avant la levée de l'option d'achat par exemple.

Mise en oeuvre d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge électrique à Paris - résultats par CoBAYe

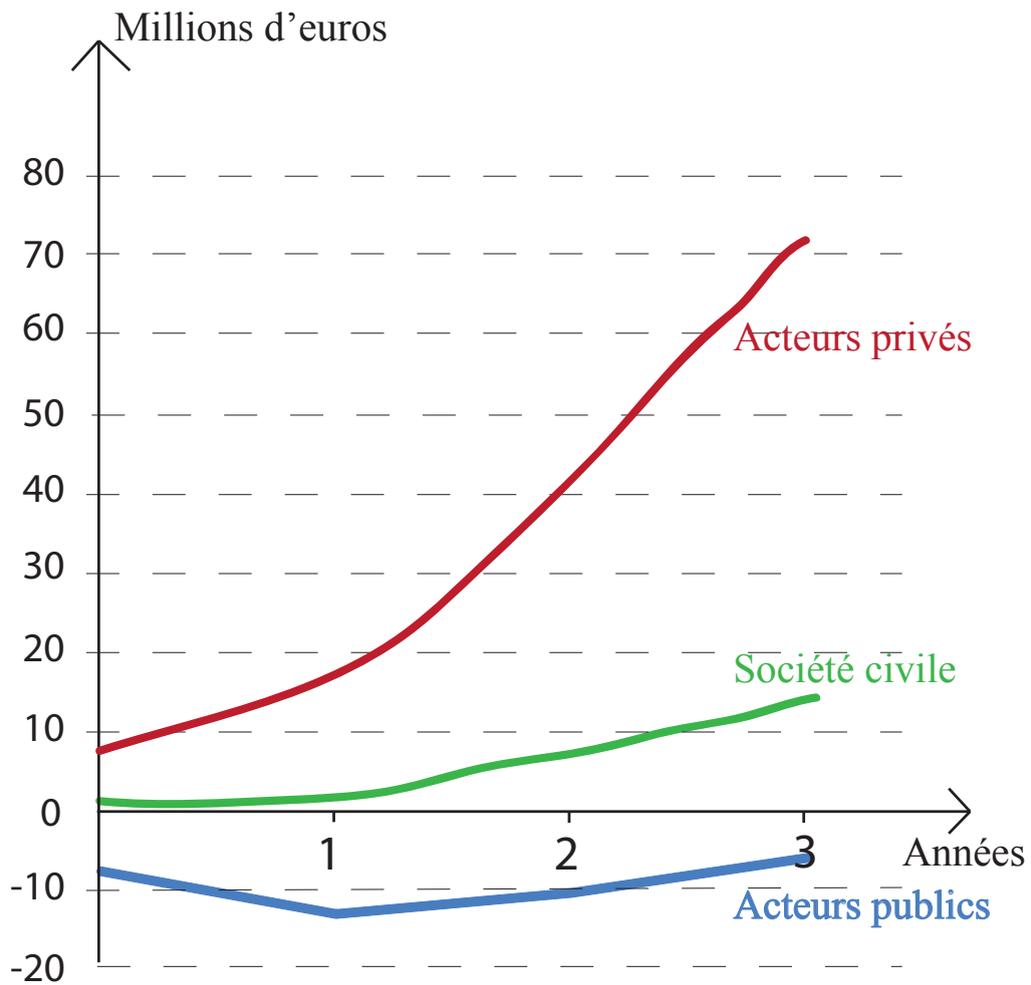


FIGURE 9.8 – Résultats de CoBAYe pour chaque groupe d'acteurs avec une représentation de la borne supérieure des scénarios.

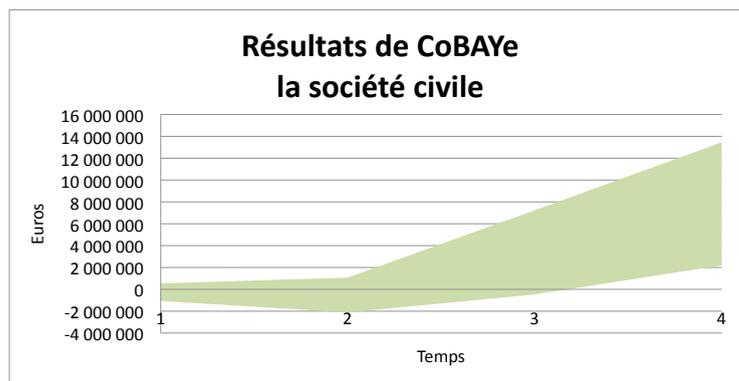
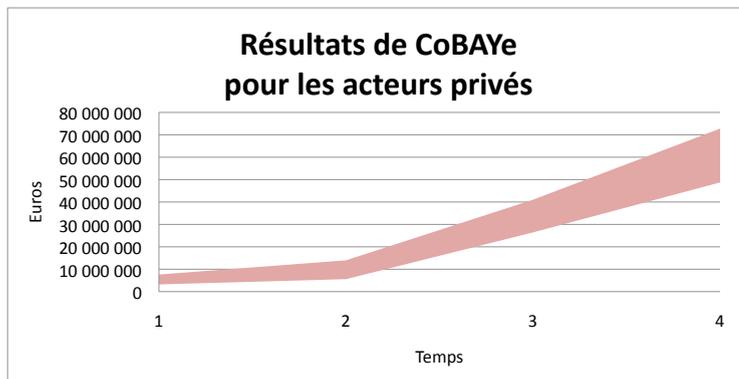
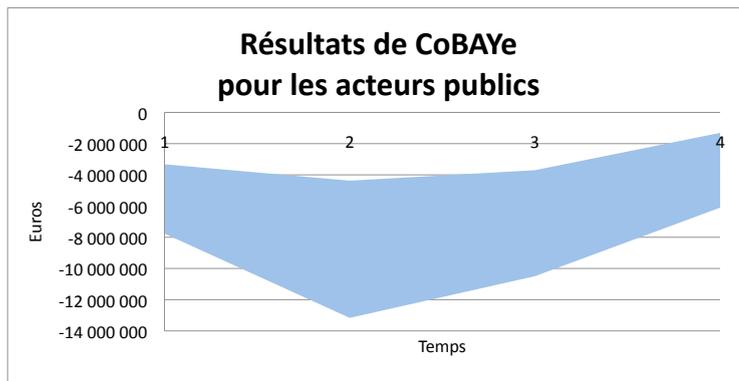


FIGURE 9.9 – Résultats de CoBAYe pour chaque groupe d'acteurs avec une représentation des bornes inférieure et supérieure. Les résultats sont présentés en Euros en fonction du temps (en années).

raison pour laquelle il n'a pas été pris en considération au cours des quatre premières années ; d'autant que, dans un contexte d'interdépendances de politiques publiques et de stratégies privées, nous pouvons supposer que le gouvernement national va annuler sa politique de subventions lorsque le véhicule électrique devient moins cher. Enfin, à partir de la troisième année, et il en est de même dans le scénario de « limite inférieure » (voir Figure 9.9), les bénéfices pour la société civile augmentent progressivement grâce à l'amélioration des bénéfices de santé publique et de réduction de bruit si bien sûr, comme l'envisage notre scénario, les objectifs de la politique sont atteints.

Les acteurs privés

Peut-être contrairement aux attentes des décideurs, les acteurs privés sont les bénéficiaires nets (et absolus) de la politique publique, et ce dès le début de la mise en œuvre du réseau de bornes de recharge, même dans le scénario de « limite inférieure ». Les effets qui ont été envisagés dans la version raccourcie de l'outil CoBAYe pour ce groupe d'acteurs sont relatifs au Groupe *Bolloré* et aux entreprises de livraison pendant les deux premières années, puis aux nouvelles entreprises qui ont été créées au cours des années suivantes. Cette émergence est la conséquence du développement de nouvelles activités économiques, grâce en particulier à la création d'un nouvel écosystème tel que défini par Moore (1996), et nous avons pris comme hypothèse que celui-ci engendrerait des emplois pour un millier de personnes environ en région Île-de-France¹⁷. Les bénéfices absolus du secteur privé sont donc dus à deux effets induits différents, qui se produisent à des horizons temporels différents également :

- d'une part, la vente de véhicules électriques débutant immédiatement, bien qu'elle est conjointe à la réduction des ventes de véhicules thermiques du même nombre, en faisant l'hypothèse qu'un véhicule électrique remplace son pendant thermique pour l'usage quotidien de l'agent économique ;
- d'autre part, la création de nouveaux emplois grâce au nouvel écosystème créé par la mobilité électrique naissante (et qui n'apparaît pas dans le scénario de référence).

Toutefois, ces résultats nets peuvent diminuer si nous tenons compte de la création de bornes de recharge supplémentaires par les acteurs privés à partir de la troisième année (sous l'hypothèse,

17. Certains des emplois peuvent même être créés en dehors de la région francilienne, comme dans le cas de l'entreprise de construction de bornes de recharge pour véhicules électriques DBT.

comme indiqué à la période \mathbb{P}_3 , que la demande de bornes de recharge dépasse l'offre et que c'est ce signal du marché qui incite le secteur privé à investir dans d'autres bornes de recharge).

Les acteurs publics

Dans cette section, nous envisageons quasiment exclusivement la Mairie de Paris et le gouvernement national comme faisant partie du groupe des acteurs publics¹⁸. Les résultats des Figures 9.8 et 9.9 montrent que la politique publique a des coûts nets pour le secteur public, même dans le cas de scénario de « limite supérieure ». Ils s'expliquent par le fait qu'ils sont dus à la fois :

- d'une part, évidemment, aux dépenses pour mettre en œuvre le réseau de bornes de recharge électrique (des effets directs qui incombent à la Ville de Paris)
- et, d'autre part, à l'augmentation du nombre de subventions accordées aux acheteurs de véhicules électriques (des effets indirects qui incombent au gouvernement français).

En dehors de ces coûts, la tendance à la hausse de la courbe des acteurs publics s'explique par l'hypothèse d'un scénario qui représente l'arrivée d'une classe créative (Florida, 2010) à Paris - grâce au nouvel écosystème créé par le développement de la mobilité électrique - qui permet ainsi un encouragement de l'innovation et de la créativité (Florida, 1995; Kahn, 2008).

De plus, ce scénario prend en considération le fait que la ville de Paris a dépensé deux fois pour la mise en œuvre d'un réseau public dense de bornes de recharge pour véhicules électriques. Toutefois, ces coûts sont compensés par les « *opportunity benefits* », c'est-à-dire le fait que la Ville de Paris n'a pas eu à décider d'une politique de transport et le fait que des entreprises innovantes et productives sont attirées par la ville. Enfin, le coût observé à la fin de la quatrième année est dû à la politique de subventions menée par le gouvernement national.

Analyse normative et recommandations éventuelles

À partir d'une approche normative, nous faisons l'hypothèse que les actions et les prises de décision des acteurs publics peuvent être la résultante de plusieurs formes de rationalité distinctes.

1. En premier lieu, les acteurs publics acceptent de supporter l'essentiel ou la totalité du coût de la mise en œuvre de la politique publique, au motif que cette dernière permet de dégager

18. A nouveau, en fonction du décideur, il est évidemment possible d'étudier un seul de ces deux acteurs : la discussion sur les résultats présentée dans ce paragraphe ne constitue qu'une illustration.

- un bénéfice net social. Les acteurs publics font alors primer l'intérêt collectif sur l'objectif d'équilibre comptable de la mesure publique, en termes de dépenses et de recettes fiscales.
2. En second lieu, les acteurs publics n'acceptent pas de supporter l'essentiel ou la totalité du coût de la mise en œuvre de la politique publique et font primer leur intérêt propre. Ce choix peut être dicté par un contexte budgétaire tendu, par des choix politiques d'orientation libérale, telle que la volonté de « laisse[r]-faire » le marché après un stimulus initial, ou bien encore, par l'objectif d'une réélection.

Dans la seconde configuration, les acteurs publics doivent actionner des leviers susceptibles de modifier la répartition et la temporalité des effets. Cela induit que ces derniers reconçoivent ou amendent la politique publique à l'aune des bénéfices et des coûts attendus de sa mise en place avant ajustements. À ce titre, l'outil CoBAYe démontre son utilité et sa portée, parce qu'il intègre - par construction - les phénomènes d'interdépendance des stratégies publiques et privées. En effet, il n'est pas uniquement un outil d'évaluation (*ex-ante* et *ex-post*), mais véritablement un outil d'aide à la décision publique, non cantonné au soutien de la prise de décision, mais pouvant également déborder sur une orientation quant à la nature et aux modalités mêmes de la décision publique.

Ainsi, selon la deuxième rationalité, de nombreuses possibilités peuvent être envisagées par les acteurs publics.

1. Premièrement, le coût initial est dû à la construction de l'infrastructure de bornes de recharge pour véhicules électriques. Si ces coûts sont partagés avec les acteurs privés, alors nous pouvons supposer que le coût initial pourrait être divisé de moitié. Cette éventualité trouve son argumentation dans l'usage même d'une borne de recharge. En effet, des gérants de supermarchés, d'entreprises ou de centres commerciaux, c'est-à-dire les acteurs privés qui gagneraient à ce que leur commerce soit à proximité d'une borne de recharge pour attirer des clients le temps que leur véhicule se recharge, par exemple, verraient d'un bon œil une participation financière à la construction de bornes de recharge électrique si celle-ci s'accompagnait d'un espace supplémentaire pouvant attirer de la clientèle, et surtout si cet espace fait partie de la voirie publique. Certains, sur l'exemple du partenariat liant l'entreprise *JC Decaux* à la Ville de Paris pour l'exploitation du système de vélos en libre

service « Vélib' », pourraient même imaginer profiter de l'emplacement de la borne de recharge électrique pour la doubler d'un espace d'affichage publicitaire.

2. Deuxièmement, en analysant la Figure 9.9, si les subventions à l'achat de véhicules électriques sont annulées ou réduites, alors la diminution observée dans les résultats chiffrés du groupe d'acteurs publics devient inexistante (ou réduite respectivement). Le secteur public, et en particulier par l'intermédiaire du gouvernement national, pourrait par conséquent réduire ses coûts (et économiser ainsi aux alentours de 14 millions d'euros), étant donné que l'hypothèse formulée dans notre scénario admet que la politique de subventions ne dure que deux ans après la mise en œuvre opérationnelle du réseau de bornes de recharge. En conséquence, les acteurs publics verraient leurs comptes s'équilibrer au bout de trois ans. Bien sûr, par un mécanisme de vases communicants, cette réduction des coûts de l'intervention publique entraînera des coûts pour la société civile, puisque les utilisateurs de véhicules électriques auraient à payer le tarif plein, sans subvention, pour l'achat de leur véhicule¹⁹.
3. Enfin, dans le but de transférer certains bénéfices des acteurs privés au secteur public, et donc équilibrer leurs dépenses, une politique fiscale pourrait être décidée, mais elle ne permettrait guère de gagner l'acceptabilité sociale. Par exemple, on peut penser à une politique réglementaire contraignante qui imposerait aux acteurs privés qui ne souhaitent pas participer à la mise en place de bornes de recharge de s'acquitter d'une taxe, de sorte que les coûts de construction du réseau de bornes reviennent indirectement, mais complètement, aux acteurs privés. Par exemple, un tel dispositif pourrait voir le jour pour encourager fiscalement les entreprises qui ne souhaitent aujourd'hui pas installer de bornes de recharge électrique pour la recharge des véhicules de leurs employés. De cette façon, les coûts de construction des acteurs publics - et en particulier la Ville de Paris - qui ont lieu pendant les deux premières années seraient transférés et pris en charge intégralement par le secteur privé.

19. A nouveau, cette hypothèse peut être discutée : si le prix ressenti pour l'acheteur est plus important car il n'est plus en mesure de bénéficier de subventions publiques, il est possible qu'il ne souhaite plus acheter de véhicule électrique. Dans ces conditions, une forte baisse des ventes ne conduirait pas non plus à l'équilibre des comptes des acteurs publics.

Mise en oeuvre d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge électrique à Paris - résultats par CoBAYe

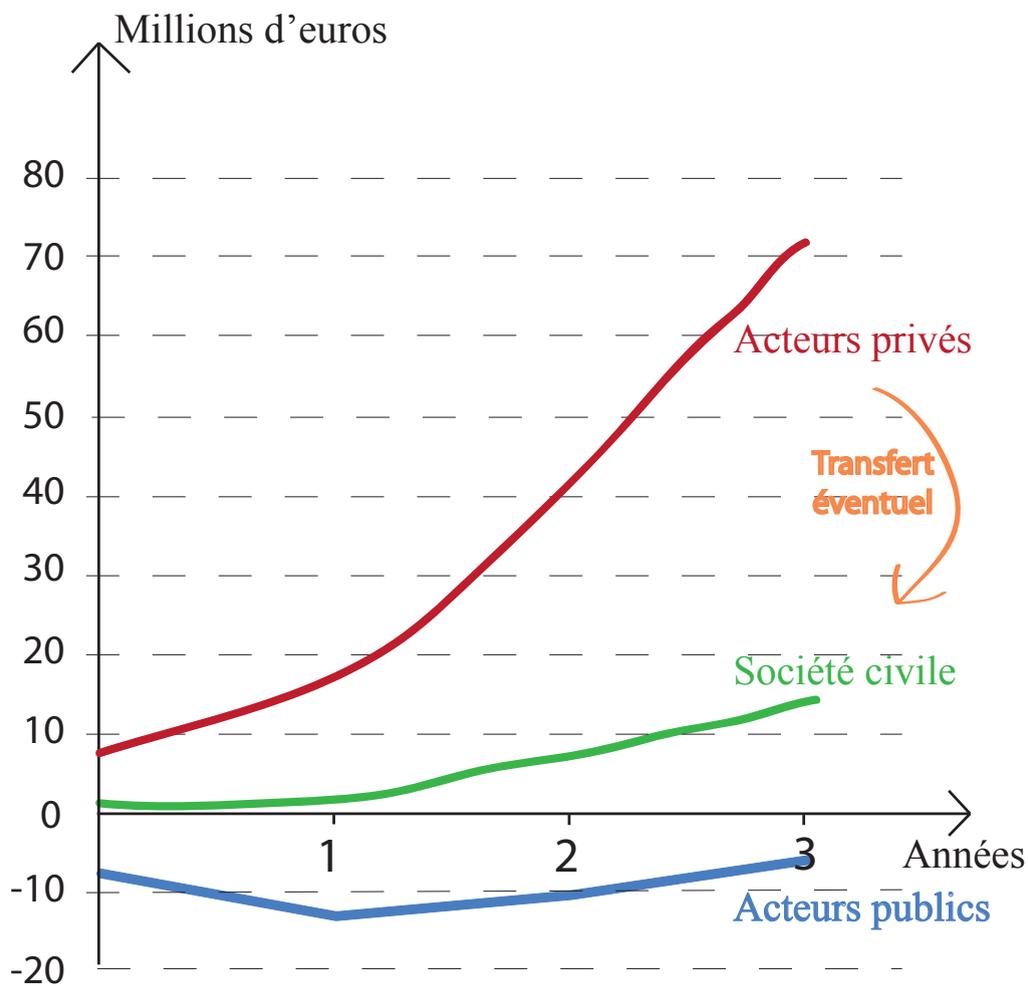


FIGURE 9.10 – Résultats de CoBAYe pour chaque groupe d'acteurs avec une représentation de la borne supérieure des scénarios. Les résultats de la figure 9.8 peuvent engendrer des améliorations (du point de vue du décideur) et des transferts d'argent.

9.5 Conclusion

Le Chapitre 9 est une application possible de l’outil d’aide à la décision CoBAYe, relative à une politique publique de création d’un réseau infrastructurel de bornes de recharge pour véhicules électriques, dans un objectif de réduction de la pollution atmosphérique à Paris (Conseil de Paris, 2012). Dans la mesure du possible, les préconisations du Chapitre 7 ont été suivies, c’est-à-dire :

- (a) La construction d’un scénario de référence ;
- (b) La construction d’un scénario de projet, qui reprend le vote du Conseil de Paris de novembre 2012. Pour cela, nous avons été amenés à :
 - (i) construire des hypothèses de changement de *structure topo-économique* du territoire parisien ;
 - (ii) faire part des effets anticipés par chaque acteur concerné par la politique publique dans une *frise* temporelle, pour mettre en valeur les dynamiques des interactions entre chaque acteur ;
 - (iii) et analyser les caractéristiques de chaque effet identifié dans le but de les mesurer sous forme de représentation formelle.
- (c) L’étape optionnelle de valorisation monétaire, en essayant de la cibler acteur par acteur ;
- (d) Enfin, la représentation graphique des résultats et leur interprétation de façon positive puis normative.

En particulier, les derniers paragraphes examinés ne sont que des exemples des résultats de CoBAYe si l’outil d’aide à la décision est utilisé à des fins prescriptives. Cependant, nous recommandons fortement l’utilisation de CoBAYe comme un outil pour identifier, décrire et anticiper les stratégies privées et les politiques publiques qui pourraient être engendrées par la mise en œuvre initiale d’une politique publique. Une évaluation *ex-ante* en utilisant CoBAYe fournirait ainsi au décideur des éléments pour lui permettre éventuellement d’adapter, de modifier ou de poursuivre les modalités choisies pour la mise en place de la politique en question. La première et la troisième mesure explicitées plus haut sont par exemple une modification possible de la politique publique initiale, rendue possible par les résultats de l’outil d’aide à la décision

CoBAYe : elle orienterait la politique publique pour arriver à un schéma similaire à celui présenté en Figure 9.10.

Enfin, si CoBAYe est appliqué comme un outil descriptif, il est alors beaucoup plus utile comme un dispositif méthodologique qui peut être utilisé pour toute politique publique transversale, en tenant compte à la fois de l'incertitude et de l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées. Plus précisément, c'est la typologie des effets directs, indirects et surtout des effets induits à chaque fois que la structure topo-économique du territoire est modifiée, qui permet à l'analyste à la fois d'identifier les politiques publiques et les stratégies privées, si souvent entrelacées, et de les modéliser avec les données et des courbes relatives à chaque acteur concerné. Par exemple, dans le cas de la mise en place du réseau infrastructurel de bornes de recharge à Paris et tel que défini par le scénario de projet, les résultats de CoBAYe montrent que les bénéficiaires de la politique sont les acteurs privés et - dans une moindre mesure - la société civile, alors que les coûts sont presque intégralement supportés par les acteurs publics, à la fois la Mairie de Paris à travers les dépenses de construction des bornes de recharge, et le gouvernement français par le biais des subventions à l'achat d'un véhicule électrique.

Enfin, nous tenons à mettre l'accent sur le fait que les étapes mentionnées ci-dessus représentent certes la mise en œuvre de la méthode CoBAYe, mais sans processus de concertation. En toute rigueur, cette étude ne peut donc pas en tant que telle représenter une évaluation *ex-ante* de la politique publique de création d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris qui soit représentative des points de vue des acteurs concernés par cette décision. Pour cela, nous pensons que l'intégration de ces acteurs dans le processus de décision, au moyen d'une séance de concertation, comme préconisé en section 7.2, est essentielle.

Chapitre 10

Application de l’outil d’aide à la décision CoBAYe à la politique de « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) à Paris

10.1 Introduction

Ce Chapitre a pour objectif de présenter une deuxième application de l’outil CoBAYe, par une évaluation *ex-ante* d’une autre politique de mobilité pour réduire la pollution atmosphérique, à l’initiative de la Mairie de Paris. En effet, la Zone à Circulation Restreinte (ZCR) a pour objectif de réduire la circulation des véhicules polluants à l’intérieur de Paris dans le but de diminuer la pollution atmosphérique au sein de la capitale et de sa proche périphérie et, par conséquent, d’améliorer la santé de ceux qui pratiquent le territoire parisien, résidents ou non¹. Nous faisons l’hypothèse que cette politique publique, décidée par la Mairie de Paris, a des conséquences sur plusieurs secteurs différents (mobilité des voyageurs, mobilité des marchandises, foncier, logement,

1. En toute rigueur, le terme de « Zone à Circulation Restreinte » relève de l’application de la Loi de Transition Énergétique, ce qui implique qu’une telle dénomination ne pourra avoir lieu qu’en 2016. Le Conseil de Paris prévoit entretemps une « gestion différenciée de la circulation en fonction des catégories de véhicules, pour des nécessités de protection de l’environnement », dont la mise en place est possible avec les outils actuels de la Mairie de Paris et de la Préfecture de Police de Paris (Hidalgo, 2015). Dans ce mémoire toutefois, c’est le terme de « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) qui sera employé.

commerce...) et plusieurs types d'acteurs (organismes publics de niveaux hiérarchiques variés, entreprises privées existantes, entreprises privées qui peuvent se développer, particuliers...) et que leur interaction peut faire émerger des comportements dynamiques et interdépendants dont l'identification peut être pertinente pour le décideur afin de pouvoir anticiper d'autres actions publiques. Pour cela, nous proposons une évaluation *ex-ante* de la ZCR au moyen de l'outil CoBAYe, de façon à faire ressortir les différents *effets* relatifs à chaque acteur concerné. Cette section introductive présente une mise en contexte de la politique publique à travers un bref historique de la création de ses sœurs, les « *Low Emission Zones* », en Europe² avant de définir les scénarios de référence et de projet qui seront mobilisés pour l'évaluation. La section 10.2 présente alors la *frise* des effets qui sont anticipés à l'issue de la création de la ZCR et la section 10.3 détaille chacun des effets de façon formalisée. Par la suite, la section 10.4 développe une interprétation des résultats différente de celle présentée dans le Chapitre 9 (et en particulier dans la section 9.4) : en effet, dans cette application de l'outil CoBAYe, l'accent n'est pas mis sur la valorisation monétaire des effets, comme dans le cas de l'analyse coûts-bénéfices traditionnelle, mais plutôt sur une interprétation graphique des centralités et des relations d'interdépendance entre acteurs, ce qui permet alors au décideur d'identifier les acteurs les plus « à risques » (ou au contraire les plus bénéficiaires) du choix entrepris. De surcroît, le décideur est alors également en mesure de savoir dans quels secteurs il serait nécessaire d'approfondir l'analyse (par exemple en procédant par enquêtes ou par entretiens) pour obtenir des résultats plus fiables.

Enfin, comme dans le cas du Chapitre 9, nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que l'application présentée dans ce Chapitre ne reflète pas le processus de décision CoBAYe en toute rigueur. En effet, ces deux applications ont pour but d'illustrer les résultats qui peuvent être obtenus au moyen de l'utilisation de l'outil CoBAYe, mais ne sont pas le résultat de sa mise en œuvre fidèle, c'est-à-dire que la *frise* des effets ne résulte pas de l'interaction *simultanée* d'acteurs différents réunis au sein de la même salle, comme le prévoit le processus CoBAYe (section 7.2), mais plutôt d'avis recueillis par une diversité d'acteurs un par un, en procédant par des entretiens. La diversité de points de vue est donc bien présente mais, si un décideur souhaite s'appuyer (entre autres) sur cet outil pour faire son choix, alors nous pensons que l'application

2. La section présente en particulier un aperçu historique. Pour plus d'informations, le lecteur peut se référer à ADEME (2011) ou à Proag (2011).

présentée ici ne remplira fidèlement son rôle que si une séance de concertation est organisée entre les acteurs concernés par la politique publique, ce qui lui permettrait ainsi de tirer les avantages de l'interaction simultanée et dynamique entre ces acteurs et, par conséquent, d'anticiper plus d'effets.

10.1.1 Bref historique des « *Low Emission Zones* » européennes, ancêtres des ZCR

L'évolution de la mise en place des « *Low Emission Zones* » en cartes

Aujourd'hui, il existe plus de 150³ « *Low Emission Zones* » (LEZ) en Europe, regroupées au sein de huit pays de l'Union Européenne : l'Allemagne, l'Angleterre, l'Autriche, le Danemark, l'Italie, les Pays-Bas, la République Tchèque et la Suède. La Norvège, la Hongrie et la France étudient aujourd'hui l'expérimentation de leurs propres Zones à Basses Emissions.

Bien que ce projet ne se concentre que sur les LEZ mises en place en Europe, il est important de noter que d'autres régions du monde se sont également prêtées au jeu. Ainsi, dès 2001, certains territoires au sein de villes japonaises comme Tokyo, Chiba, Saitama, Kanagawa, Osaka et Hyogo, ont été déclarés « *Low Emission Zones* » via la loi japonaise sur la réduction des oxydes d'azote et particules fines des émissions dues au trafic automobile (Transport and Travel Research Ltd, 2006). De façon pratique, ces zones interdisent l'accès aux véhicules qui dépasseraient un âge limite (neuf ans pour des voitures au diesel, dix pour des bus par exemple...).

En ce qui concerne les LEZ en Europe toutefois, la Figure 10.1 présente leur emplacement à ce jour. Les huit pays qui ont mis en place des LEZ sont présentés sur la Figure 10.2. Toutes les « *Low Emission Zones* » ne sont pas représentées, mais uniquement les principales, afin d'assurer la lisibilité des cartes. On remarque déjà que deux pays sont très prolifiques en nombre de LEZ : l'Allemagne et l'Italie⁴.

Avant 2007, on distingue deux types de « *Low Emission Zones* » : les « *Zona a Traffico Limitato* » italiennes (dont les premières apparaissent en 1992), et les « *miljözoner* » suédoises,

3. 183 pour être exact, mais elles ne fonctionnent pas toutes simultanément.

4. Les cartes suivantes présentent la création des « *Low Emission Zones* » année par année. Les disques représentent la superficie de ces zones, mais ne sont pas à l'échelle.



FIGURE 10.1 – Représentation schématique des différentes « *Low Emission Zones* » (LEZ) en Europe. Chaque point rouge représente une LEZ, indépendamment de sa taille.

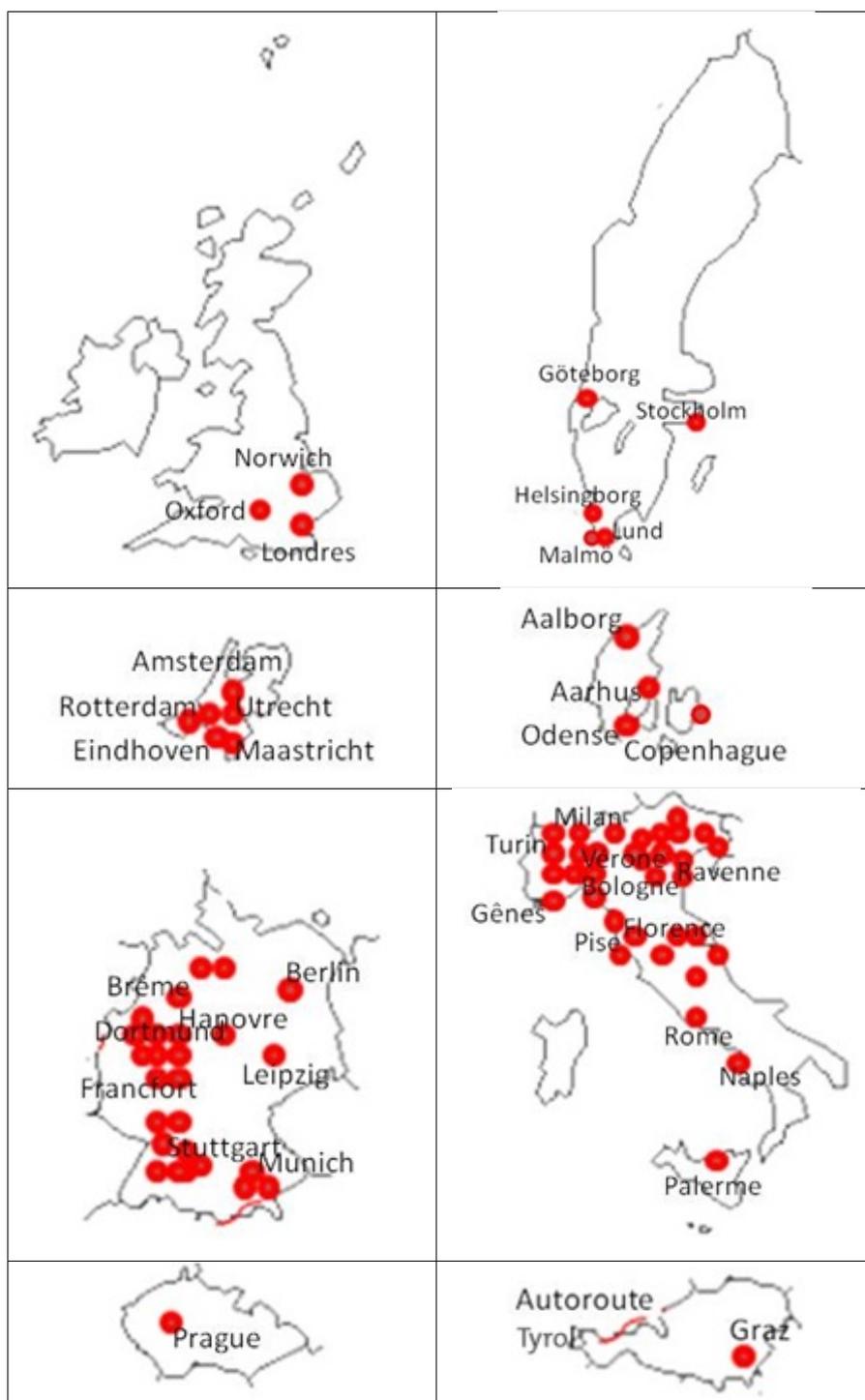


FIGURE 10.2 – Les huit pays d'Europe ayant mis en place des « *Low Emission Zones* »

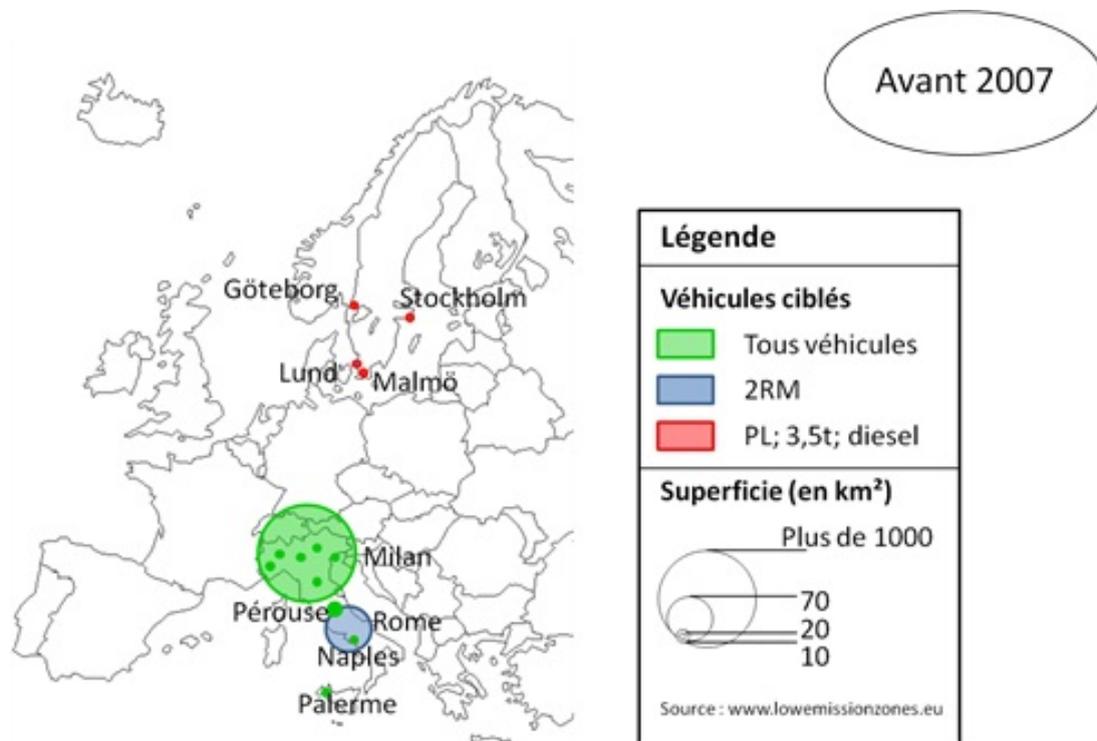


FIGURE 10.3 – Les villes italiennes et suédoises ont été pionnières dans la création de zones pour la protection de l’environnement.

dont la mise en place ne débute que quatre ans plus tard (voir Figure 10.3). A leurs débuts, ces deux types de LEZ optent pourtant pour des modalités d’entrée bien différentes, car leurs objectifs ne sont également pas communs.

Tableau 10.1 – Une première en Italie : vers un centre-ville sans voiture

Caractéristiques	Les premières LEZ
Zone	Petite taille (max : 5 km ²)
Objectifs	Diminuer les déplacements des véhicules
Véhicules	Tous, quelle que soit leur émission en polluants
Temporalité	Plages horaires
Moyens de contrôle	Manuel : vignettes
Type de gouvernance	Deux niveaux : État et villes

Tableau 10.2 – La Suède : un système nordique de « *Low Emission Zone* » qui cible le secteur commercial

Caractéristiques	Les premières LEZ environnementales
Zone	Petite taille (max : 15 km ²)
Objectifs	Diminuer la concentration de polluants atmosphériques : <i>PM</i> ₁₀ et <i>NO</i> ₂
Véhicules	Poids lourds uniquement, en fonction de leur ancienneté
Temporalité	Continue
Moyens de contrôle	Manuel : vignettes
Type de gouvernance	Deux niveaux : État et villes

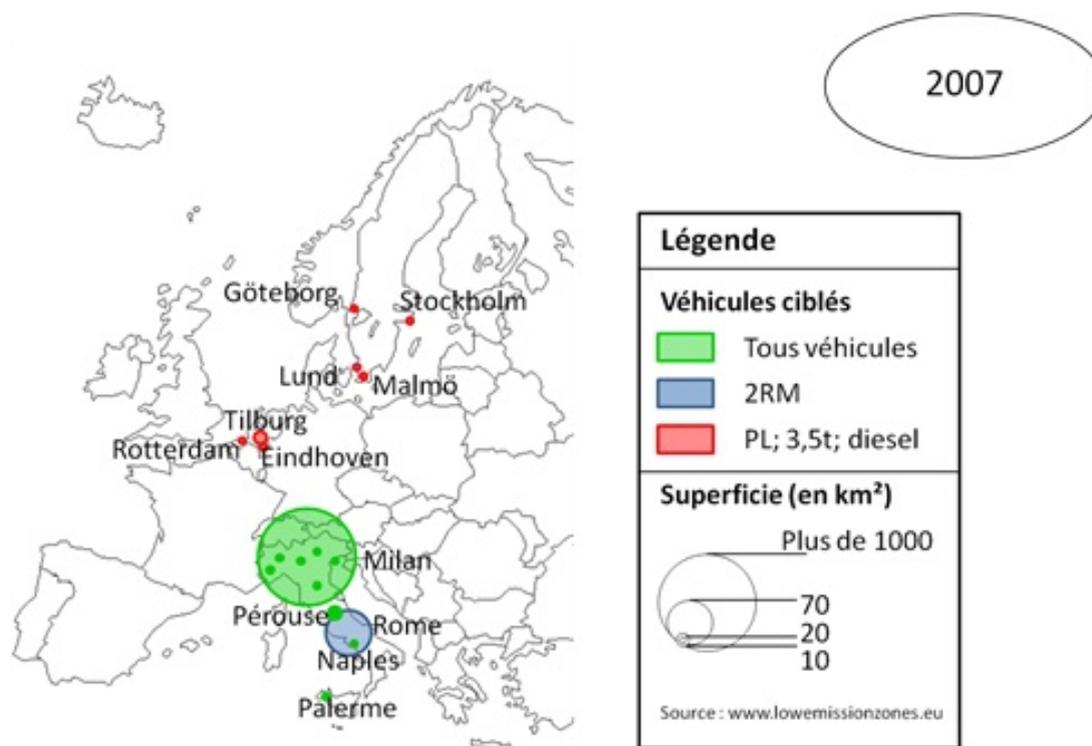


FIGURE 10.4 – En 2007, les villes hollandaises commencent elles aussi à mettre en place des « *milieuzones* ».

Tableau 10.3 – Les premières « *milieuzones* » hollandaises suivent la tendance nordique.

Caractéristiques	La démocratisation des LEZ
Zone	Petite taille (max : 20 km ²)
Objectifs	Diminuer la concentration de polluants atmosphériques : <i>PM</i> ₁₀ et <i>NO</i> ₂
Véhicules	Poids lourds uniquement, en fonction de leur norme environnementale
Temporalité	Continue
Moyens de contrôle	Manuel : vignettes
Type de gouvernance	Deux niveaux : État et villes

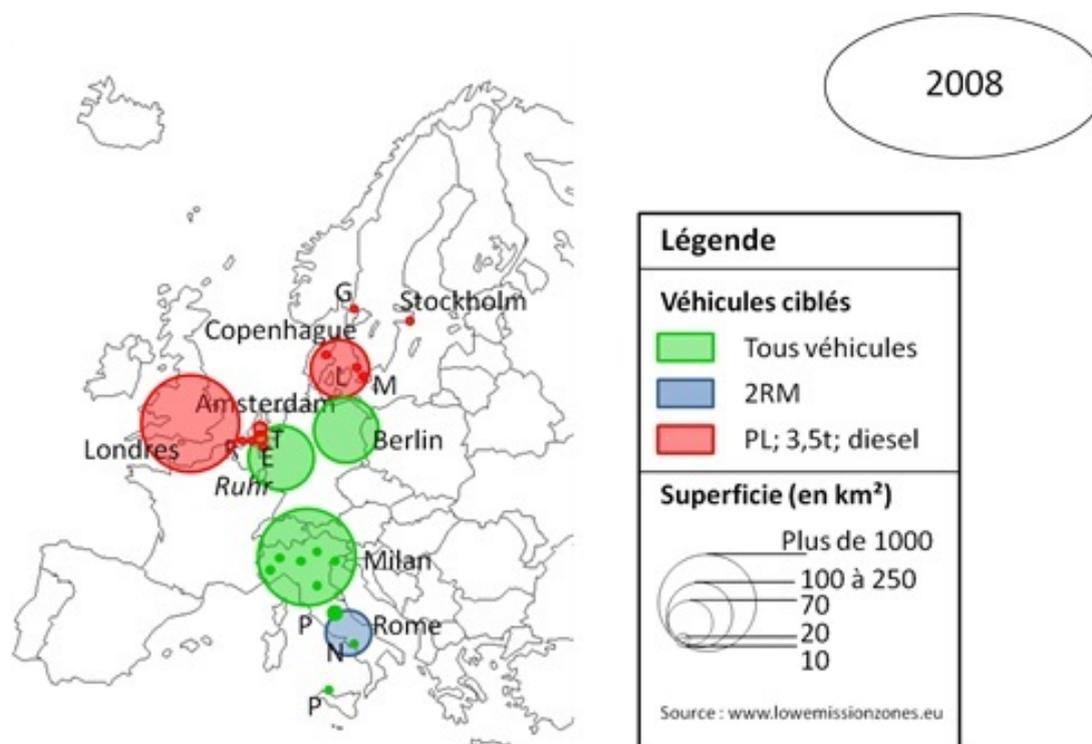


FIGURE 10.5 – Le Danemark, le Royaume-Uni et certaines villes allemandes dont Berlin ainsi que quelques villes de la région de la Ruhr mettent en application des « *Low Emission Zones* » en 2008, coïncidant avec la publication de la directive européenne 2008/50/CE, sur la qualité de l'air

Tableau 10.4 – Avec la parution de la directive 2008/50/CE, les LEZ s’étendent aux autres États membres.

Caractéristiques	La démocratisation des LEZ
Zone	Petite, moyenne et très grande taille (de 20 à 1600 km^2)
Objectifs	Diminuer la concentration de polluants atmosphériques : PM_{10} et NO_2
Véhicules	Deux écoles : les PL uniquement ou tous les véhicules
Temporalité	Continue
Moyens de contrôle	Manuel : vignettes et réseau de caméras
Type de gouvernance	Deux niveaux : État et villes

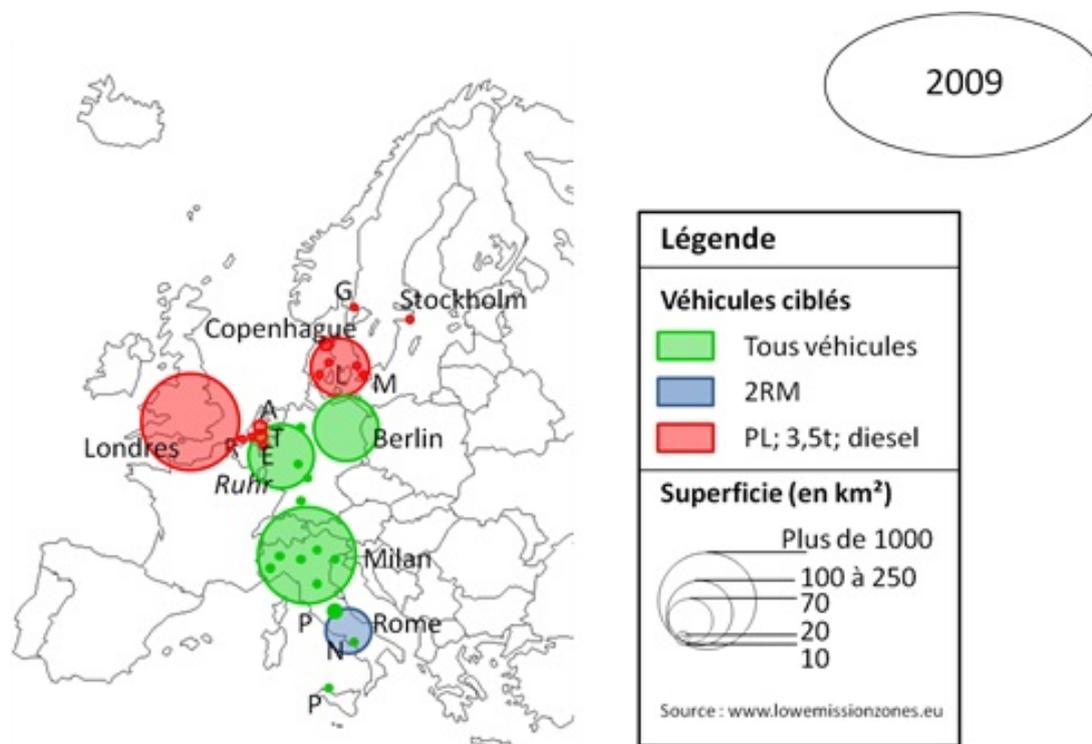


FIGURE 10.6 – En 2009, on observe surtout une apparition des « *umweltzonen* » de façon plus homogène sur le territoire allemand.

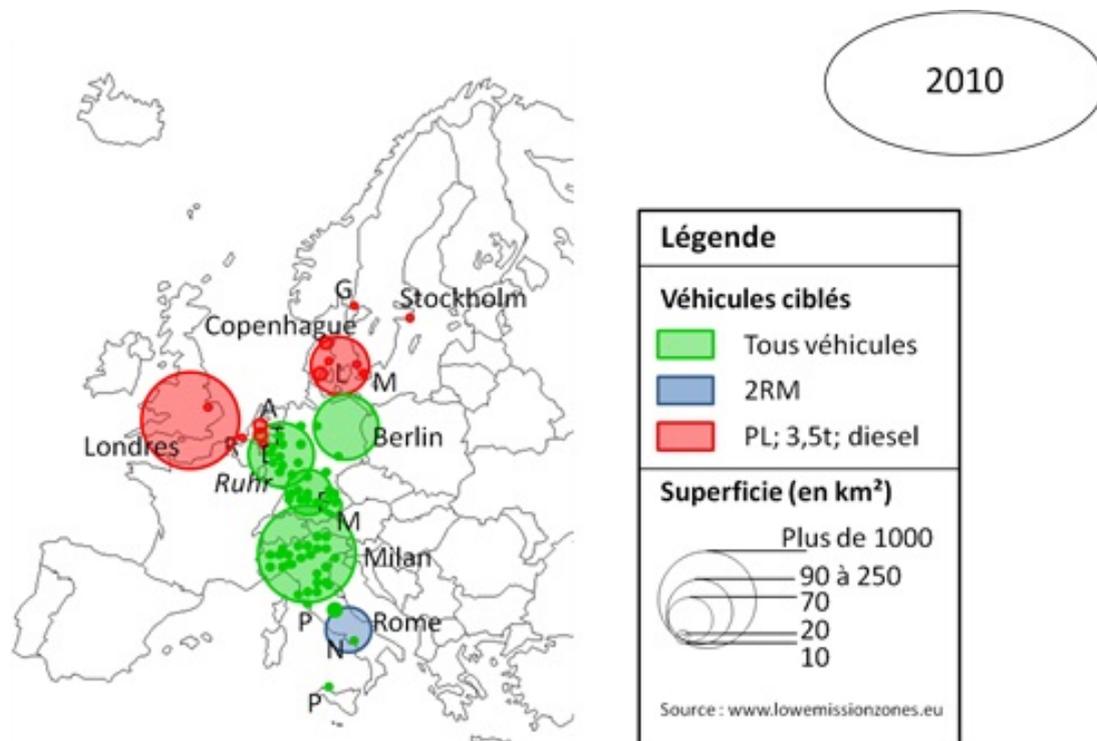


FIGURE 10.7 – En 2010, la majorité des « *Low Emission Zones* » est maintenant concentrée en Allemagne et en Italie. On observe également une diversité conséquente des modalités de mise en place (véhicules ciblés, taille de la LEZ).

Date de mise en place de la « *Low Emission Zone* » : à contextes différents, objectifs différents

La date de mise en place de la LEZ peut être un critère pertinent pour nous permettre de choisir parmi les villes européennes qui seraient les plus intéressantes à comparer à Paris. En effet, outre le fait qu'elle nous renseigne sur l'ancienneté de la mesure de restriction de la circulation – et donc sur un retour d'expérience plus prononcé – la date de début permet aussi de renseigner sur le contexte dans lequel a été mise en place la LEZ et sur ce qu'a été son objectif.

On peut diviser les villes qui ont choisi cette mesure environnementale en deux catégories : les villes qui ont créé leur LEZ avant la parution de la directive européenne 2008/50/CE et celles

qui l'ont fait en 2008 ou après. Parmi les villes qui ont mis en place des LEZ avant 2007, on distingue également deux cas principaux (Figure 10.3 et Tableaux 10.1 et 10.2) :

1. D'une part les villes italiennes, dont les « *Zone a Traffico Limitato* » ont un objectif triple :
 - En premier lieu, la diminution de la pollution atmosphérique, dans le but de protéger les monuments historiques du centre de la ville.
 - En deuxième lieu, la diminution du trafic routier, dans le but de revitaliser ces cœurs de ville et garantir aux piétons un espace sécurisé – la volonté des maires étant de créer un quartier piétonnier dans le centre historique urbain.
 - L'objectif des ZTL aujourd'hui concerne aussi la diminution de la pollution atmosphérique à des fins de meilleure santé publique, pour répondre aux exigences européennes.
2. D'autre part les « *miljözoner* » suédoises ont été mises en place à partir de 1996, en application de la directive européenne 1996/62/CE. Cette directive est assez similaire dans ces objectifs à la directive 2008/50/CE, mais en gardant des objectifs qualitatifs. Arrivées une année plus tôt dans l'UE, les villes suédoises appliquent donc la directive 96/62/CE par la mise en place de plans relatifs à la qualité de l'air, afin de diminuer les émissions de PM_{10} et de NO_2 .

Quelques « *milieuzones* » hollandaises sont créées en 2007 (Figure 10.4 et Tableau 10.3), dans la continuité de la directive européenne 96/62/CE. Le décret⁵ sur la qualité de l'air « *Besluit luchtkwaliteit 2005 (Staatsblad 2005, 316)* » précise les objectifs des *milieuzones*. Il sera par la suite amendé pour prendre en compte les objectifs quantitatifs de la directive européenne 2008/50/CE.

Les LEZ dont la mise en place est antérieure à la directive 2008/50/CE se classent donc en deux groupes :

- (a) celles qui visent une réduction du trafic et de la pollution dans le cœur de ville, pour des raisons de protection du patrimoine historique,
- (b) et celles dont le but est de diminuer la pollution atmosphérique pour améliorer la santé publique.

5. Minister van verkeer en waterstaat (2005), *Convenant stimulering schone vrachtauto's en milieuzonering*, Den Haag (Pays-Bas).

Les « *milieuzones* » hollandaises, les « *miljøzonen* » danoises, la « *Low Emission Zone* » de Londres et les « *umweltzonen* » allemandes se mettent toutes en place en 2008 ou après (Figures 10.5 à 10.7 et Tableau 10.4). Elles visent toutes une réduction de la concentration en polluants atmosphériques (et spécifiquement en particules fines PM_{10}). Il n'est pas anodin que tous ces noms traduisent le mot suédois « *miljözon* », signifiant littéralement « zone pour l'environnement ». En effet, les « *miljözoner* » suédoises ont été citées en exemple dans toutes les études de faisabilité des LEZ hollandaises, danoises, anglaises et allemandes. Outre leur nom, plusieurs caractéristiques et modalités des « *miljözoner* » ont aussi été reprises.

PM_{10} ou NO_x : quels polluants sont ciblés par les LEZ ?

Toutes les LEZ ont-elles choisi de cibler les mêmes polluants? La directive européenne 2008/50/CE donne des objectifs quantitatifs pour deux polluants atmosphériques en particulier : les particules fines (PM_{10}) et le dioxyde d'azote (NO_2). Les tableaux 10.5 et 10.6 présentent les valeurs limites préconisées par l'Union Européenne.

Tableau 10.5 – Valeurs limites européennes et modalités d'application concernant les particules fines PM_{10} , selon la directive européenne 2008/50/CE.

Valeur limite	Quelle mesure ?	Quand ?
$40 \mu g/m^3$	Moyenne annuelle	À partir du 01/01/2005
$50 \mu g/m^3$	Moyenne sur un jour : pas plus de 35 fois par année civile	À partir du 01/01/2005

Tableau 10.6 – Valeurs limites européennes et modalités d'application concernant le dioxyde d'azote NO_2 , selon la directive européenne 2008/50/CE.

Valeur limite	Quelle mesure ?	Quand ?
$40 \mu g/m^3$	Moyenne annuelle	À partir du 01/01/2010
$200 \mu g/m^3$	Moyenne sur une heure : pas plus de 18 fois par année civile	À partir du 01/01/2010

Les deux dates butoirs, tant pour les PM_{10} que pour le NO_2 , semblent très strictes et surtout déjà dépassées avant même la mise en place de la LEZ. Toutefois, l'article 22 précise que, si les États Membres présentent un « plan relatif à la qualité de l'air », alors ils peuvent bénéficier d'un délai jusqu'à juin 2011 pour les PM_{10} et janvier 2015 pour le NO_2 (Journal Officiel de l'Union Européenne, 2008).

Ainsi, alors que, officiellement, les LEZ mises en place en Europe prétendent cibler ces deux polluants atmosphériques, elles ne cherchent dans la pratique (en utilisant les normes européennes et en promouvant l'usage des filtres à particules) qu'à réduire efficacement la concentration en particules fines, pour lesquelles la date butoir est plus contraignante.

Toutes les LEZ mises en place aujourd'hui en Europe utilisent des procédés visant à réduire la concentration en PM_{10} , et pas en NO_2 . Toutefois, Berlin et Londres, par exemple, réfléchissent à des mesures (dont des nouvelles normes d'émission européennes) pour diminuer la concentration en NO_2 , qu'ils proposent à l'UE.

Un « retour d'ascenseur » peut d'ailleurs être observé dans ce cas. En effet, la France s'aide aujourd'hui des retours d'expérience des LEZ européennes sur les PM_{10} mais Paris cherche à diminuer les concentrations des PM_{10} et du NO_2 . Dans les années à venir, le rôle sera donc inversé, et c'est plutôt Paris qui pourrait être pris comme exemple à terme.

10.1.2 Scénario de référence

Le scénario de référence choisi pour étudier l'évaluation de la mise en place d'une Zone à Circulation Restreinte est la déclinaison parisienne du Plan de Déplacements Urbains en Île-de-France (STIF, 2012), comme choisi par les services techniques de la Ville de Paris. En l'occurrence, comme dans le cas du Chapitre 9, nous choisissons comme scénario de référence une poursuite des tendances actuelles en matière de mobilité et de pollution. En particulier, dans le scénario de référence, aucune zone de restriction de circulation n'est créée.

10.1.3 Scénario de projet

La Zone à Circulation Restreinte (ZCR) est un « plan relatif à l'amélioration de la qualité de l'air », selon les termes de la directive européenne 2008/50/CE (Journal Officiel de l'Union Européenne, 2008). Lors de l'appel à projets, lancé par le gouvernement national pour étudier la faisabilité de projet d'une « Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air » (ZAPA) par des communes et groupements de communes volontaires en 2011, celles-ci avaient donc le choix de proposer leur propre plan relatif à l'amélioration de la qualité de l'air. En particulier, dans le cas de Paris, huit scénarios ont été étudiés par la Ville de Paris et rendus officiels au cours de l'été 2012, les scénarios se différenciant à la fois par la taille de l'agglomération urbaine et le type de véhicules progressivement interdits. Finalement en février 2015, la Mairie de Paris décide de mettre en place un « plan d'actions contre la pollution atmosphérique »⁶, qui se décline :

- d'une part, en la restriction de la circulation des véhicules les plus polluants à Paris⁷ ;
- et, d'autre part, en de nombreuses mesures d'accompagnement destinées à des profils d'acteurs différents : voyageurs particuliers, professionnels mobiles, en fonction de déplacements uniquement dans Paris ou également de déplacements Paris-périphérie⁸.

Dans le scénario de projet, les restrictions de la circulation suivent le calendrier suivant (calqué sur la communication de la Maire de Paris des 9 et 10 février 2015 sur « la lutte contre la pollution atmosphérique liée au trafic routier » (Hidalgo, 2015) :

Dès le premier juillet 2016, en appliquant le dispositif législatif créé grâce au vote de la Loi de Transition Énergétique, tous les véhicules de classe 1* (véhicules antérieurs à 1997 pour les véhicules particuliers et les camionnettes) seront interdits. Les voitures particulières, 2 roues motorisés et véhicules utilitaires légers concernés par ces mesures d'interdiction pourront

6. Quatre années après avoir manifesté un intérêt pour étudier la faisabilité d'une ZAPA initialement, c'est finalement une ZCR qui sera mise en place à compter de juillet 2015 (Hidalgo, 2015).

7. Un véhicule est dit « polluant » en fonction de ses émissions de polluants lorsqu'il est en fonctionnement. Les services techniques du gouvernement national ont alors établi une classification nationale des véhicules considérés comme polluants sur la base de l'arrêté du 3 mai 2012 établissant la nomenclature des véhicules classés en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques. Une représentation graphique de cette classification est présentée en Annexe.

8. Le détail des mesures souhaitées par la Maire de Paris pour accompagner le changement de règles de circulation dans la capitale et, en particulier, pour favoriser la diffusion de véhicules « propres », c'est-à-dire électriques, hybrides ou au gaz, a fait l'objet d'une communication en Conseil de Paris les 9 et 10 février 2015. La présentation intégrale de ces mesures est reprise en Annexe.

continuer à circuler le week-end, tandis que l'interdiction sera permanente pour les autobus, autocars et poids-lourds concernés.

Par ailleurs, cette interdiction de circulation est expérimentée dès le premier juillet 2015 pour les autobus, autocars et poids lourds de classe 1* (véhicules antérieurs au 1er octobre 2001) sur le territoire parisien.

Entre 2017 et 2020, les véhicules de classes 2*, 3*, puis 4*, seront progressivement interdits. Le dispositif mis en place par la Ville de Paris pourra évoluer en fonction du développement des coopérations à l'échelle métropolitaine pour la mise en place d'actions sur le territoire étendu de la Métropole du Grand Paris.

Les véhicules de classe 1* sont :

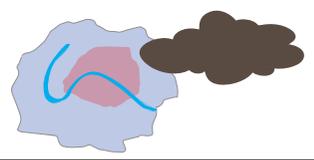
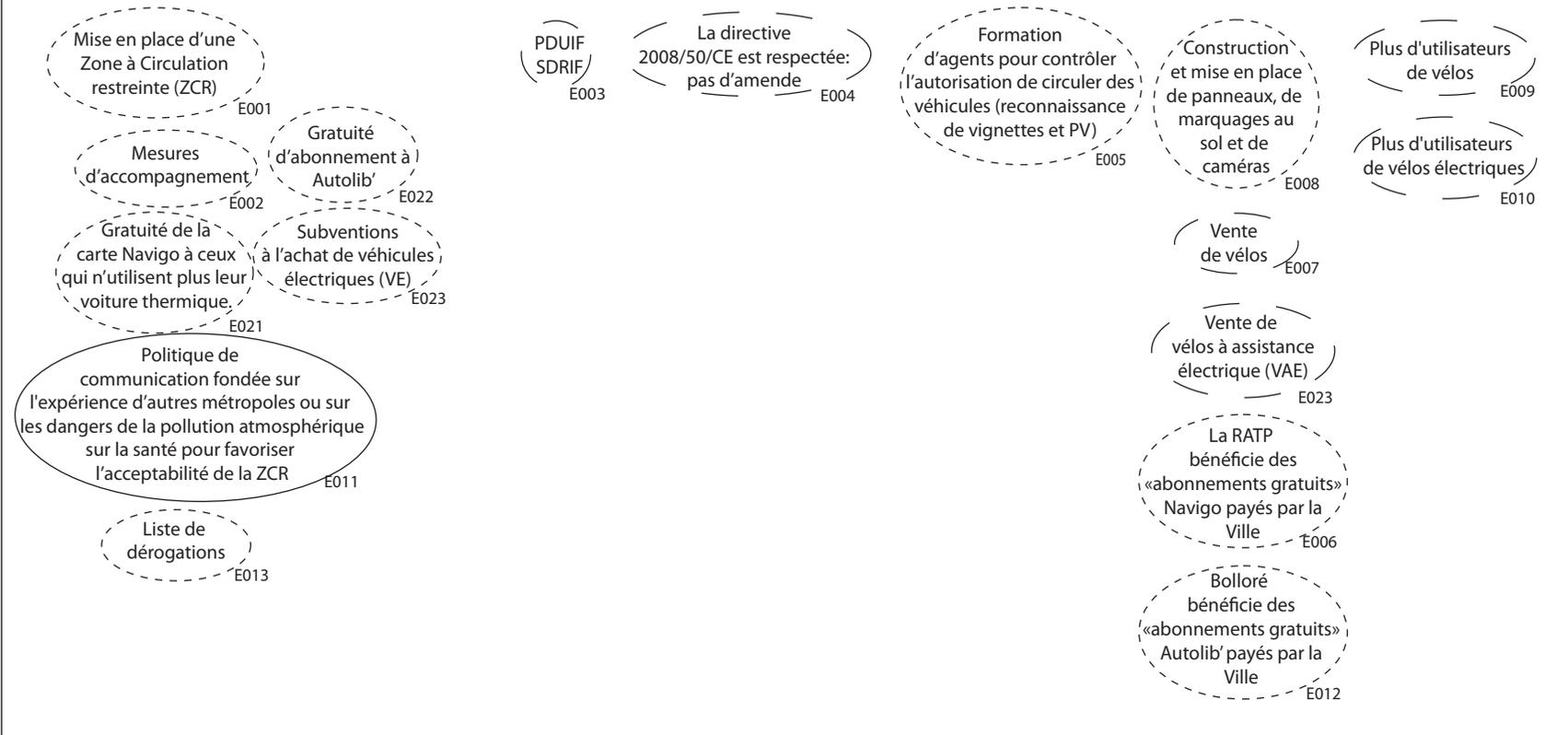
- Pour les 2 roues motorisés, les véhicules antérieurs au 31 mai 2000, soit les véhicules Euro 0 ;
- Pour les véhicules particuliers, les véhicules antérieurs au 1^{er} janvier 1997, soit les véhicules Euro 0 et Euro 1 ;
- Pour les véhicules utilitaires légers, les véhicules antérieurs au 1^{er} octobre 1997, soit les Euro 0 et Euro 1 ;
- Pour les poids-lourds, les véhicules antérieurs au 1^{er} octobre 2001, soit les véhicules Euro 0, Euro 1 et Euro 2.

Le contrôle sera pris en charge par les forces de police en charge de la circulation et du stationnement. Les contrevenants à la mesure de restriction de circulation pour les véhicules les plus polluants seront punis de l'amende prévue pour la contravention de deuxième classe, assortie d'une mesure d'immobilisation du véhicule éventuellement suivie d'une mise en fourrière, conformément aux dispositions des articles L.325-1 à L.325-3 et R.411-19 du Code de la route. Le dispositif d'identification des véhicules est calqué sur le modèle allemand, avec des vignettes de couleur différente en fonction de leur niveau d'émission de polluants même si « à terme, une automatisation du contrôle est souhaitable pour une meilleure efficacité ».

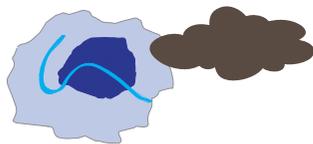
10.2 L'analyse dynamique : une « frise » des effets de CoBAYe

Cette section est représentée par la frise d'identification des effets suivante.

CoBAYe: évaluation de la mise en place d'une « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) à Paris

Structure Topo-Économique du territoire parisien		PO Topographie Pollution Infrastructures (transport, énergie...) Bassins d'emplois et de logements Aires de stationnement	Bornes de recharge pour VE et VG (véhicules électriques et au gaz) Aires de livraison Pôles d'attraction Nombre, emplacement et diversité des commerces Nombre et emplacement des écoles	Nombre de touristes Population (âge, caractéristiques) Motifs et caractéristiques de déplacement Taux de possession de véhicules Gouvernance, législation Couches institutionnelles																								
Acteurs	En général	Institutions publiques			Entreprises privées	Société Civile																						
	En détail	Mairie de Paris	Région ÎdF	Etat	Police	Entreprises (existantes) Citoyens																						
Effets																												
<table border="1"> <tr> <td rowspan="2"> Intépendances pré-existantes Structure topo-économique inchangée </td> <td> Directs Les effets directs sont liés aux objectifs de politiques qui ont été décidés et mis en place (y compris en termes de moyens), sans autre intervention complémentaire des pouvoirs publics. </td> </tr> <tr> <td> Indirects Les effets indirects sont la conséquence des effets directs, à structure topo-économique constante. Ils peuvent être plus ou moins détaillés dans le temps par rapport aux effets directs. </td> </tr> <tr> <td rowspan="2"> Création d'intépendances par les productions complémentaires intervenant ou complémentaires de la politique initiale Structure topo-économique changée </td> <td> Induits (création/suppression) Les effets induits sont aussi une conséquence des effets directs. Contrairement aux effets indirects, ils peuvent: (1) soit découler d'une modification de la structure topo-économique du territoire concerné. (2) soit contribuer à une modification la structure topo-économique du territoire concerné, c'est-à-dire que l'allocation des ressources est changée. Ils apparaissent à un horizon temporel plus ou moins éloigné des effets directs et indirects. </td> </tr> <tr> <td> a. politiques d'accompagnement, d'encadrement ou de développement décidées a posteriori b. politiques, actions et activités qui existaient et qui riment plus lieu d'être c. activités privées rendues possibles par la nouvelle configuration d. activités privées supprimées par la nouvelle configuration, car non "rentables" </td> </tr> </table>		Intépendances pré-existantes Structure topo-économique inchangée	Directs Les effets directs sont liés aux objectifs de politiques qui ont été décidés et mis en place (y compris en termes de moyens), sans autre intervention complémentaire des pouvoirs publics.	Indirects Les effets indirects sont la conséquence des effets directs, à structure topo-économique constante. Ils peuvent être plus ou moins détaillés dans le temps par rapport aux effets directs.	Création d'intépendances par les productions complémentaires intervenant ou complémentaires de la politique initiale Structure topo-économique changée	Induits (création/suppression) Les effets induits sont aussi une conséquence des effets directs. Contrairement aux effets indirects, ils peuvent: (1) soit découler d'une modification de la structure topo-économique du territoire concerné. (2) soit contribuer à une modification la structure topo-économique du territoire concerné, c'est-à-dire que l'allocation des ressources est changée. Ils apparaissent à un horizon temporel plus ou moins éloigné des effets directs et indirects.	a. politiques d'accompagnement, d'encadrement ou de développement décidées a posteriori b. politiques, actions et activités qui existaient et qui riment plus lieu d'être c. activités privées rendues possibles par la nouvelle configuration d. activités privées supprimées par la nouvelle configuration, car non "rentables"	<table border="1"> <tr> <td>B</td> <td>C</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>B</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> E001: Coûts de mise en place de panneaux, marquages au sol et de caméras de contrôle E021: En fonction du nombre de demandeurs E022: En fonction du nombre de demandeurs E023: Coûts de subvention à l'achat pour chaque VE E011: Coûts de la politique de communication (publicités, plusieurs medias) </td> <td> E003: Augmentation de l'utilité car le PDUIF est mis en place </td> <td> E004: Par rapport au scénario de référence, pas d'amende à payer à l'UE </td> <td> E005: Coûts de formation des agents </td> <td> E008: En fonction du nombre de panneaux, marquages, caméras E007: En fonction du nombre de vélos vendus E023: Nombre de VAE vendus E006: comme E021 E012: comme E022 </td> <td> E009, E010: Réduction de pollution E009, E010: Amélioration de la santé </td> <td> E011: comme E007 E012: comme E023 </td> </tr> </table>					B	C	B	C	B	C	B	C	E001: Coûts de mise en place de panneaux, marquages au sol et de caméras de contrôle E021: En fonction du nombre de demandeurs E022: En fonction du nombre de demandeurs E023: Coûts de subvention à l'achat pour chaque VE E011: Coûts de la politique de communication (publicités, plusieurs medias)		E003: Augmentation de l'utilité car le PDUIF est mis en place	E004: Par rapport au scénario de référence, pas d'amende à payer à l'UE	E005: Coûts de formation des agents	E008: En fonction du nombre de panneaux, marquages, caméras E007: En fonction du nombre de vélos vendus E023: Nombre de VAE vendus E006: comme E021 E012: comme E022	E009, E010: Réduction de pollution E009, E010: Amélioration de la santé	E011: comme E007 E012: comme E023
Intépendances pré-existantes Structure topo-économique inchangée	Directs Les effets directs sont liés aux objectifs de politiques qui ont été décidés et mis en place (y compris en termes de moyens), sans autre intervention complémentaire des pouvoirs publics.																											
	Indirects Les effets indirects sont la conséquence des effets directs, à structure topo-économique constante. Ils peuvent être plus ou moins détaillés dans le temps par rapport aux effets directs.																											
Création d'intépendances par les productions complémentaires intervenant ou complémentaires de la politique initiale Structure topo-économique changée	Induits (création/suppression) Les effets induits sont aussi une conséquence des effets directs. Contrairement aux effets indirects, ils peuvent: (1) soit découler d'une modification de la structure topo-économique du territoire concerné. (2) soit contribuer à une modification la structure topo-économique du territoire concerné, c'est-à-dire que l'allocation des ressources est changée. Ils apparaissent à un horizon temporel plus ou moins éloigné des effets directs et indirects.																											
	a. politiques d'accompagnement, d'encadrement ou de développement décidées a posteriori b. politiques, actions et activités qui existaient et qui riment plus lieu d'être c. activités privées rendues possibles par la nouvelle configuration d. activités privées supprimées par la nouvelle configuration, car non "rentables"																											
B	C	B	C	B	C	B	C																					
E001: Coûts de mise en place de panneaux, marquages au sol et de caméras de contrôle E021: En fonction du nombre de demandeurs E022: En fonction du nombre de demandeurs E023: Coûts de subvention à l'achat pour chaque VE E011: Coûts de la politique de communication (publicités, plusieurs medias)		E003: Augmentation de l'utilité car le PDUIF est mis en place	E004: Par rapport au scénario de référence, pas d'amende à payer à l'UE	E005: Coûts de formation des agents	E008: En fonction du nombre de panneaux, marquages, caméras E007: En fonction du nombre de vélos vendus E023: Nombre de VAE vendus E006: comme E021 E012: comme E022	E009, E010: Réduction de pollution E009, E010: Amélioration de la santé	E011: comme E007 E012: comme E023																					
Bénéfices et Coûts <table border="1"> <tr> <th>Bénéfices</th> <th>Coûts</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>		Bénéfices	Coûts																									
Bénéfices	Coûts																											

Ajout:
La ZCR est opérationnelle:
interdiction de circulation aux véhicules
polluants, de manière progressive



Institutions publiques

Mairie de Paris

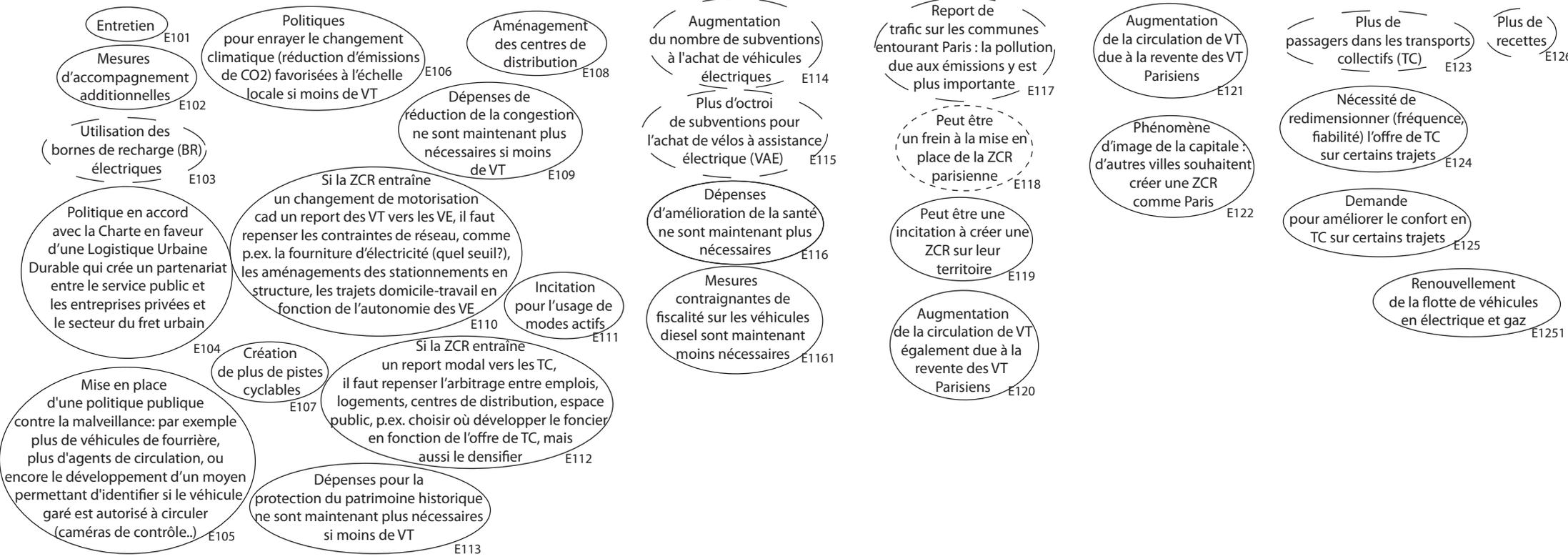
État

Autres communes
entourant Paris

Autres communes
plus éloignées

STIF

RATP



Mairie de Paris		État		Autres communes entourant Paris		Autres communes plus éloignées		STIF		RATP	
B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
E103: Image d'une politique efficace	E101: Coûts d'entretien	E116: Economies budgétaires	E114: Fonction du nombre de demandeurs	E117, E118: Augmentation de la pollution	E122: Image positive de Paris.	E121: Augmentation de la pollution	E123, E126: Recettes	E124, E125: Etudes, mise en place à horizon 2020-2025			
E104: Respect de la Charte. PP efficace	E102: Coûts des mesures		E115: comme E115	E119: Création d'une ZCR	Réduction de la pollution	E122: Création d'une ZCR					
E106: Economies budgétaires	E105: Coûts des mesures additionnelles		E1161: Perte s'il s'agissait d'une recette, gain sinon								
E109: Economies budgétaires	E107: En fonction du nombre de kilomètres										
E113: Economies budgétaires	E110: En fonction de l'ampleur du changement										
	E111: Politique de communication p ex										
	E108, E112: Arbitrage avec logements sur le foncier										

Entreprises privées

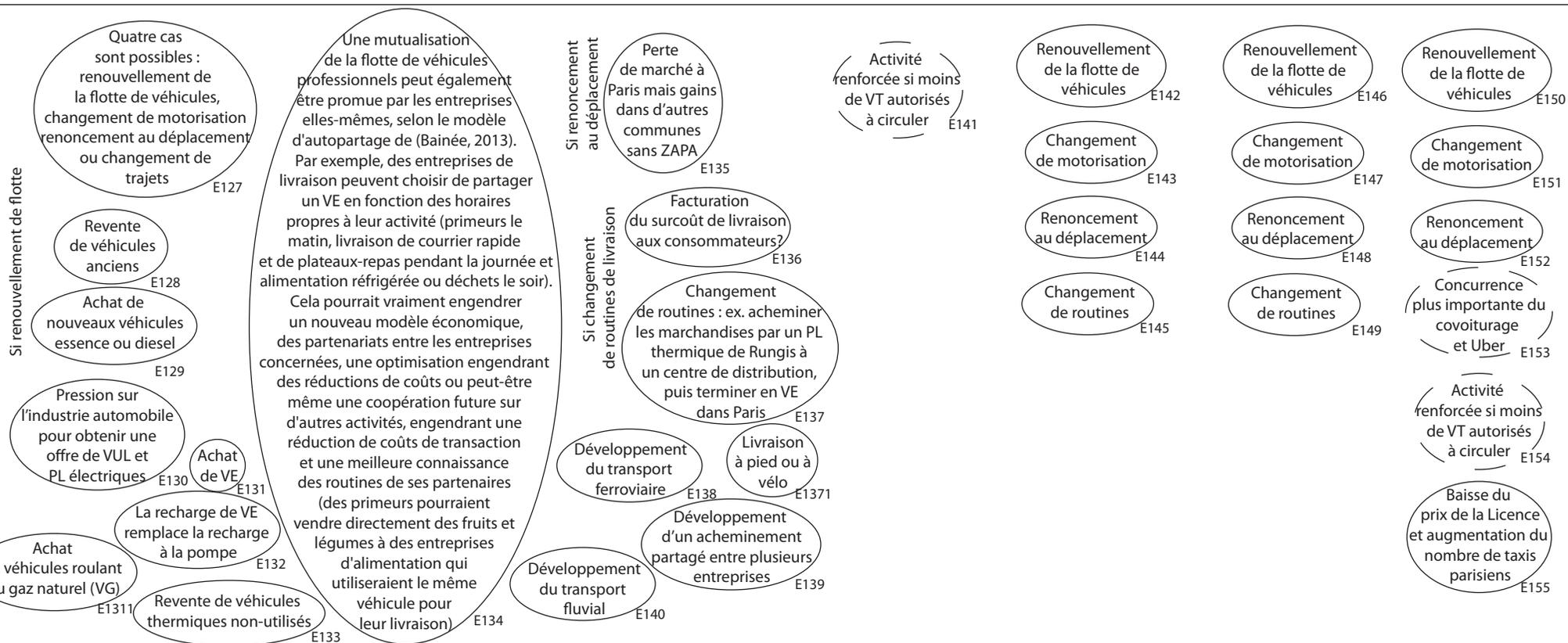
Entreprises de livraison

Bus, minibus, Cars de tourisme

Artisans (réparateurs, ouvriers...)

Autres professions

Taxis



B

C

B

C

B

C

B

C

E128, E133: Vente d'occasion - marché provincial ou étranger
 E132: Recharge électrique moins chère que carburant
 E134: Coopération entre entreprises, réduction/augmentation des coûts de transaction, meilleure optimisation des routes, réduction d'émission des polluants, amélioration de la santé
 E135: Nouveaux marchés, évolution de l'activité
 E139: Mutualisation et économies d'échelle
 E1371, E138, E140: Image, optimisation, nouveaux marchés

E129: Nouveaux véhicules
 E131, E1311: Nouveaux véhicules, incluant subventions
 E135: Perte de marché: évolution de l'activité
 E137: Changement dans la logistique
 E1371, E138, E140: Nouvelle logistique à optimiser, nouveaux marchés, coûts de transaction

E141: Augmentation de l'activité

E142, E146: voir E128
 E143, E147: voir E132
 E144, E148: voir E135
 E145, E149: voir E139, E1371, E138, E140

E142, E146: voir E129
 E143, E147: voir E131, E1311, E133
 E144, E148: E135
 E145, E149: voir E137, E1371, 138, E140

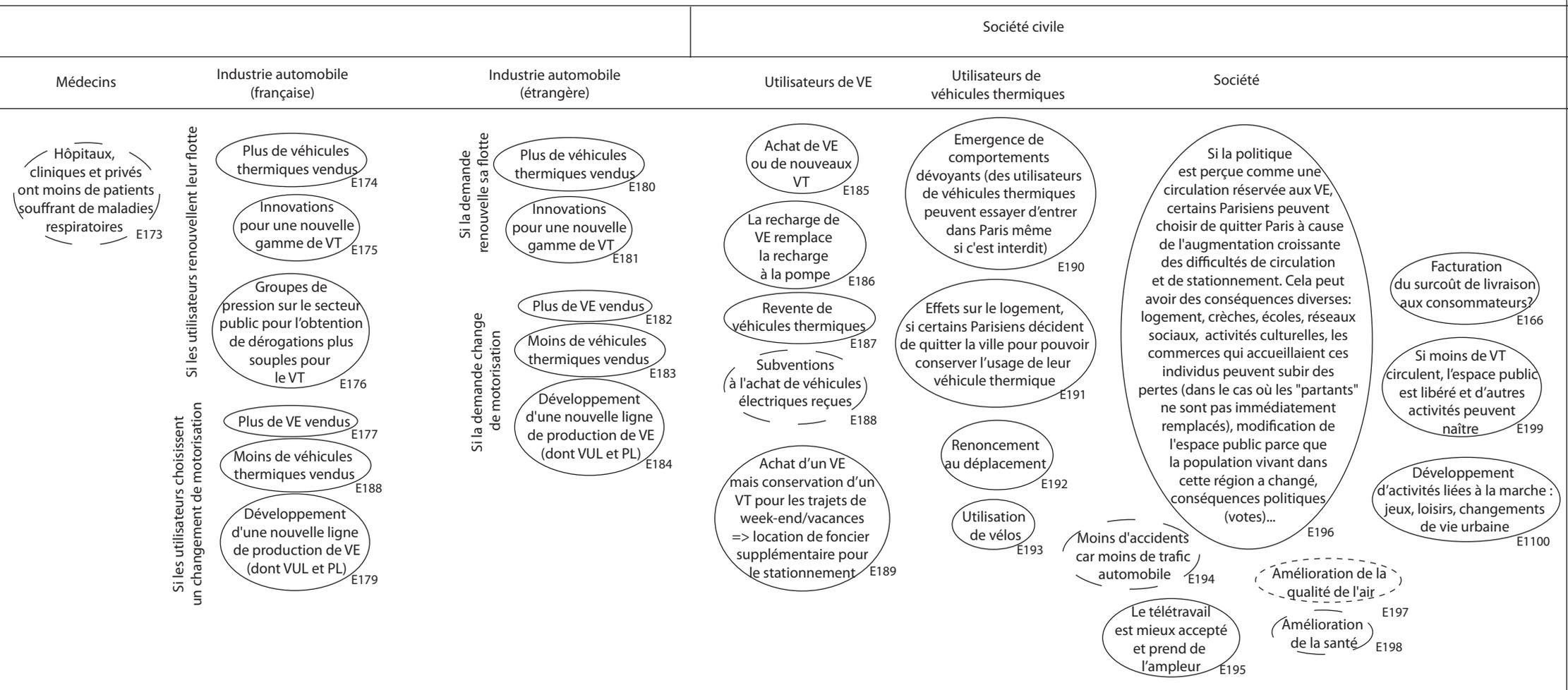
E150: E128
 E151: voir E132
 E152: voir E135
 E154: Plus de recettes
 E155: Meilleure image, plus de clients

E150: voir E129
 E151: voir E131, E1311, E133
 E152: E135
 E153: Perte de marchés
 E155: Plaintes, grèves, perte de « monopole » clients

Entreprises privées

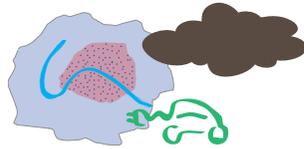
Fabricants de filtres à particules (FAP)	Concessionnaires (vente de VT)	Stations-service	Entreprises existantes (mobilité)	Bolloré	Entreprises nouvellement créées	Commerces	Commerces de proximité	Garagistes
Utilisation croissante de filtres si leur usage constitue une dérogation E156	Réduction d'activités si les VE remplacent les VT E157	Réduction d'activités si les VE remplacent les VT E158	Location (et vente de vélos) E159 Location (et vente de VAE) E160 Vente accrue d'accessoires aux modes actifs (trotinettes, casques de vélos...) E161	Utilisation croissante d'Autolib' E162	Développement de l'autopartage E163 Développement du covoiturage E164 Covoiturage d'entreprise (PDE) : effets d'équipe, voire de fidélisation des employés E165	Les commerces de Paris augmentent leurs prix pour compenser l'augmentation des tarifs de livraison E166 Les commerces en périphérie de Paris ou à l'extérieur de la ville sont plus attractifs car ne doivent pas compenser une augmentation des tarifs de livraison : plus de clientèle E167 La livraison à domicile devient plus fréquente E168	Si le trafic routier diminue, ils prennent plus de place sur la voirie (restaurateurs) et attirent plus de clientèle E169 Plus de (commerces informels) E170	Réduction d'activités de réparation si les VE remplacent les VT E171 Réduction d'activités de contrôle annuel si les VE remplacent les VT E172 Activités de réparation et de contrôle annuel pour les VE E1721

B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
E156: Augmentation d'activités		E157: Réduction d'activités, voire même fermeture	E158: Réduction d'activités, voire même fermeture	E159, E160, E161: Augmentation d'activités	E162: Augmentation d'activités plafonnée au nombre de véhicules. Peut entraîner un plus grand déploiement	E163, E164: Activité croissante, communication et réservation par de nouveaux opérateurs, économies de transport E165: meilleure cohésion, économies de transport E163, E164, E165: réduction de la pollution	E166: Moins de clients? E167: Plus de clients E168: Meilleure image, plus de clients	E166: Plus de recettes si même nombre de clients E168: Nouvelle logistique	E169, E170: Vie de quartier améliorée, plus de clients pour les restaurateurs, marchands	E1721: Nouveaux marchés	E171, E172: Réduction voire perte d'activités E1721: Nouvelle formation		



B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
E173: Moins de revenus mais plus de temps pour d'autres patients	E174, E177: Augmentation d'activités, fonction du nombre de véhicules vendus E175, E179: Nouveaux modèles, nouvelles technologies	E176: Coûts « de transaction » E178: Réduction d'activités E179: Coûts de développement sauf si prévus dans le scénario de réf.	E180, E182: Augmentation d'activités, fonction du nombre de véhicules vendus E181, E184: Nouveaux modèles et technologies	E183: Réduction d'activités E184: Coûts de développement sauf si prévus dans le scénario de réf.	E186: Recharge de VE moins chère que carburant E187: Vente d'occasion	E185, E188: Achats mais subventionnés E189: Deux véhicules, deux coûts fixes (assurance, carte grise,...)	E193: Meilleure santé, « safety in numbers »	E190: Amendes E192, E193: Impacts sur vie de quartier	E195: Moins de déplacements, moins de pollution E197: Moins de pollution E198: Meilleure santé E199: Espace public amélioré E1100: voir E199 E194: Trafic moins dangereux	E196: Impacts sur la vie de quartier E166: Risque de vie trop chère, risque de gentrification	

Ajout:
Plus de VE à Paris
- La ZAPA a favorisé leur diffusion
- L'infrastructure de BR est utile



Institutions publiques	Entreprises privées
------------------------	---------------------

Mairie de Paris ou État	Mairie de Paris	Bolloré	Entreprises d'autopartage	Entreprises de livraison
-------------------------	-----------------	---------	---------------------------	--------------------------

Politique d'incitation pour les bailleurs sociaux à mettre en place des BR en structure (incitation fiscale?)
E201

Risque d'incendie si un VE brûle (Venturi ou Groupe LaPoste) => une nouvelle loi doit peut être être promulguée, et plus de précautions doivent peut-être être prises.
E202

Politique de subvention à l'achat de VE à poursuivre ?

Usage de caméras (Electronic Recognition Plate System) de surveillance devient nécessaire pour étendre le dispositif ou améliorer son efficacité

Mise en place d'un réseau plus dense de BR, car la demande de BR dépasse l'offre actuelle
E203

En fonction des conditions d'utilisation des BR, certains acteurs économiques (citoyens ou professionnels) peuvent avoir la rationalité d'acheter un VE dans le but de réserver une place de stationnement plutôt que pour une recharge. Cela peut engendrer (exemple d'Oslo) une nouvelle régulation (décret municipal ou arrêté ministériel) du gouvernement local (ou national) pour rendre les BR accessibles à un nombre plus important d'utilisateurs; même si cela dépend de la rationalité du décideur: souhaite-t-il optimiser le nombre de personnes qui utilisent une BR? ou serait-il satisfait si un véhicule peut toujours être vu par le pulic en état de recharge, quelle que soit l'identité de son propriétaire?
E204

Les utilisateurs de VE peuvent demander à utiliser les voies réservées pour les bus et taxis pour leur déplacement
E205

Amélioration de l'efficience du système d'autopartage (Rozhdestvenskiy & Bouchner, 2013)
E206

Création et amélioration de l'efficience de systèmes d'autopartage (Giarini & Stahel, 1993)
E207

Une augmentation de la congestion urbaine est possible si deux VE sont nécessaires pour effectuer le trajet que seulement un véhicule thermique ne faisait auparavant. Par exemple, dans le cas d'un service de courrier rapide, aucun véhicule de charge utile supérieure à 10 m3 n'est pour l'instant disponible sur le marché donc, s'il n'y a pas d'optimisation, deux véhicules de charge utile inférieure peuvent être nécessaires
E208

À cause du partage de VE, on peut s'attendre à une modification des horaires de livraison, ce qui peut engendrer une modification des horaires de travail (pour les livreurs et ceux qui attendent d'être livrés)
E211

Pour les entreprises de livraison, en particulier dans le secteur alimentaire, le moteur (bruyant) qui sert à conserver les aliments au frais est thermique, mais il pourrait être remplacé par un moteur électrique qui pourrait être rechargé grâce aux BR
E209

Utiliser un VE peut également faciliter les livraisons de nuit (moins de bruit)
E210

En fonction de l'emplacement des BR, certaines routines peuvent être modifiées, en particulier pour les acteurs économiques qui effectuent régulièrement un trajet bien déterminé (concept de «substitution rigide» de Bainée (2013): par exemple le courrier, l'alimentation d'autres types de livraisons, les trajets pendulaires...
E212

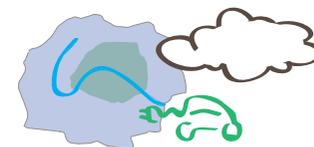
Développement accru de la livraison du «dernier kilomètre», de types de livraison à domicile (grâce à l'utilisation de véhicules moins polluants, ou de places de parking réservées pour VE)
E213

Développement de l'intermodalité, comme le transport de fret par le fleuve et ensuite par un VE pour le dernier kilomètre. Solution proposée pour l'instant par la «Chambre de Commerce et d'Industrie des Hauts-de-Seine»
E214

B	C	B	C	B	C	B	C
	E201: Coûts fiscaux E202: Coûts de transaction et de la communication	Après «la ville-lumière», «la ville électrique». L'image de Paris comme une ville «verte», la première à mettre en place un tel réseau de BR et la première «ville électrique» est un bénéfice énorme. Elle peut attirer les publicités, les partenariats privés, les touristes, l'innovation, les investisseurs ou les urbanistes qui souhaitent faire la même chose dans leur pays/ville. Paris est déjà une ville qui a une bonne réputation à l'étranger. L'ajout d'une nouvelle caractéristique, de surcroît à la mode, ne peut être que bénéfique. Paris électrique. Image pour le Maire et les décideurs également.	E203: Coûts de mise en place E204: Création des places de parking	E206: Plus d'utilisateurs d'Autolib	E207: Création de commerces et plus de «covoitureurs» E207: Réduction des embouteillages et amélioration de la qualité d'air et de la santé	E210: Bénéfices grâce à l'optimisation du fret E212 et E 214: Réduction des émissions grâce à l'optimisation du fret E213: Bénéfices pour l'image de l'entreprise (une entreprise «verte») En suivant l'exemple du Groupe LaPoste, les conducteurs de VE sont plus à l'aise, plus confortables, le véhicule est silencieux, fiable, les chauffeurs sont moins agressifs, ont la sensation d'une image de marque et bénéficient d'une meilleure acceptation sociale	E208: Perte de temps E208: Plus les coûts dus à l'émissions plus élevée de polluants. Coûts de santé associés. E217: Coûts de transaction

P3

Ajust:
Moins de pollution à Paris
La politique a tellement de succès qu'il y a trop de VE à Paris (la demande de BR dépasse l'offre)

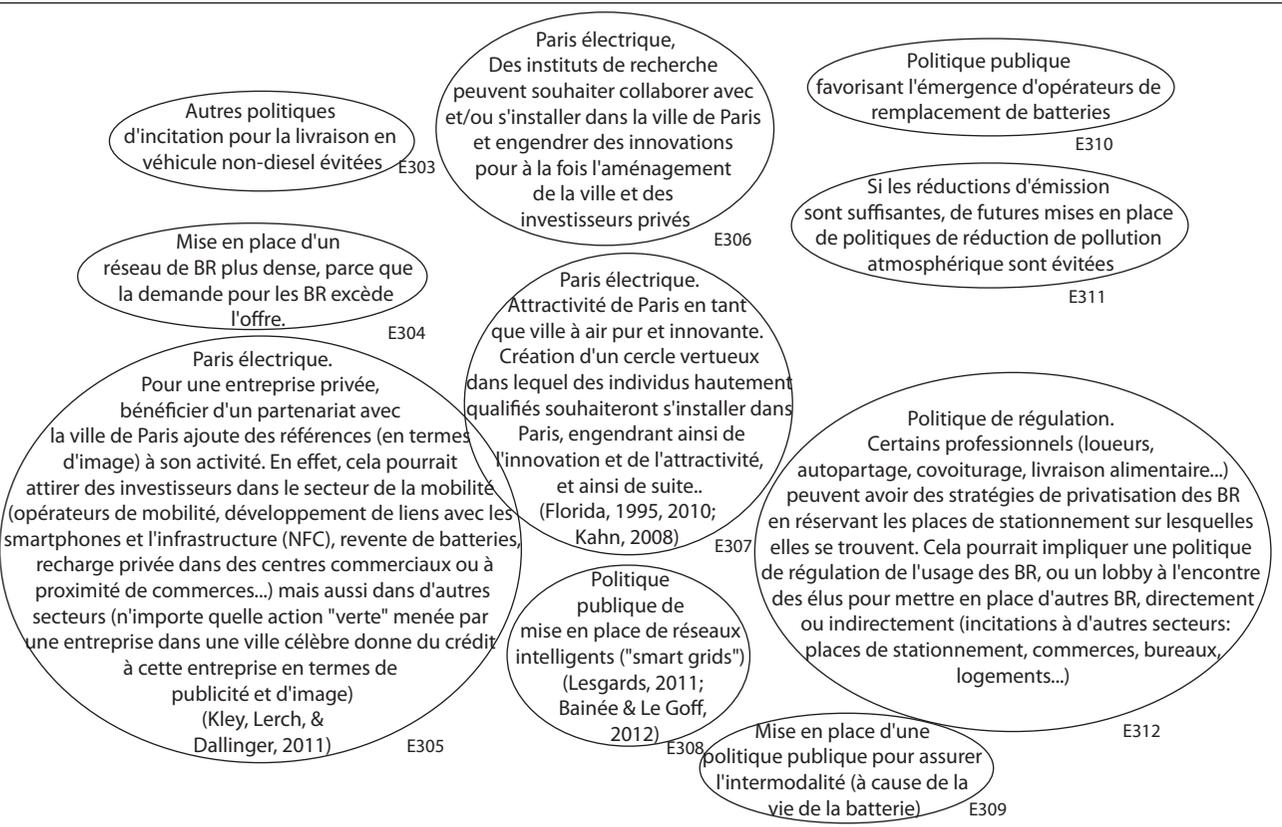
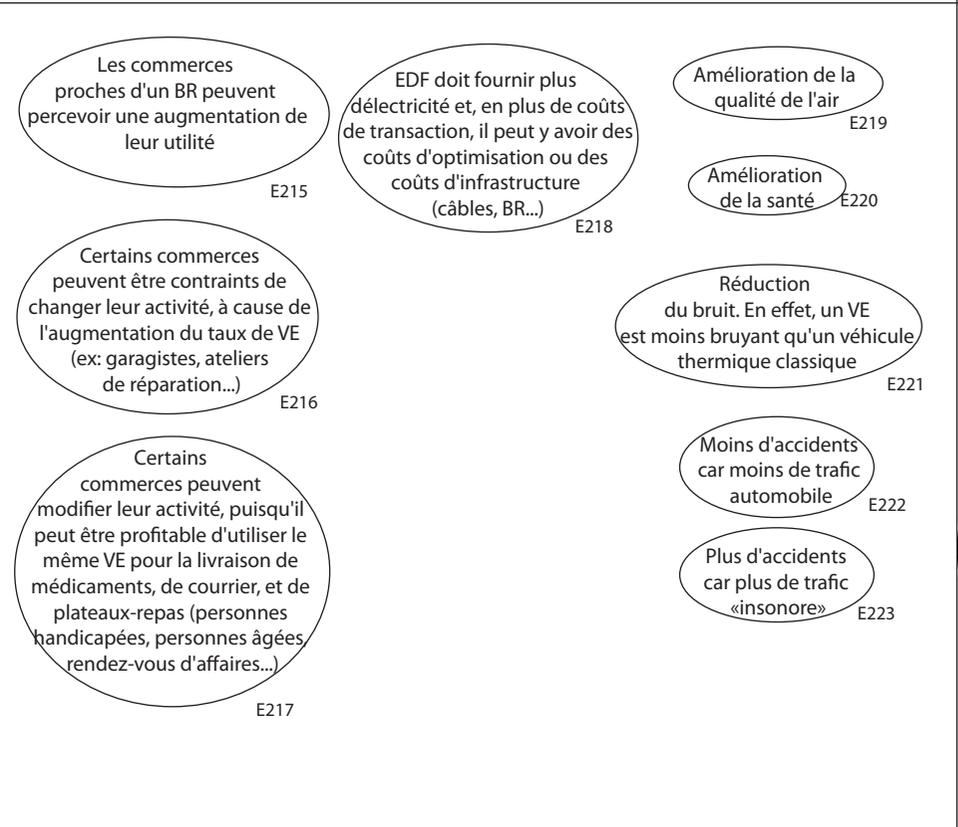


Entreprises privées	Société civile
---------------------	----------------

Institutions publiques

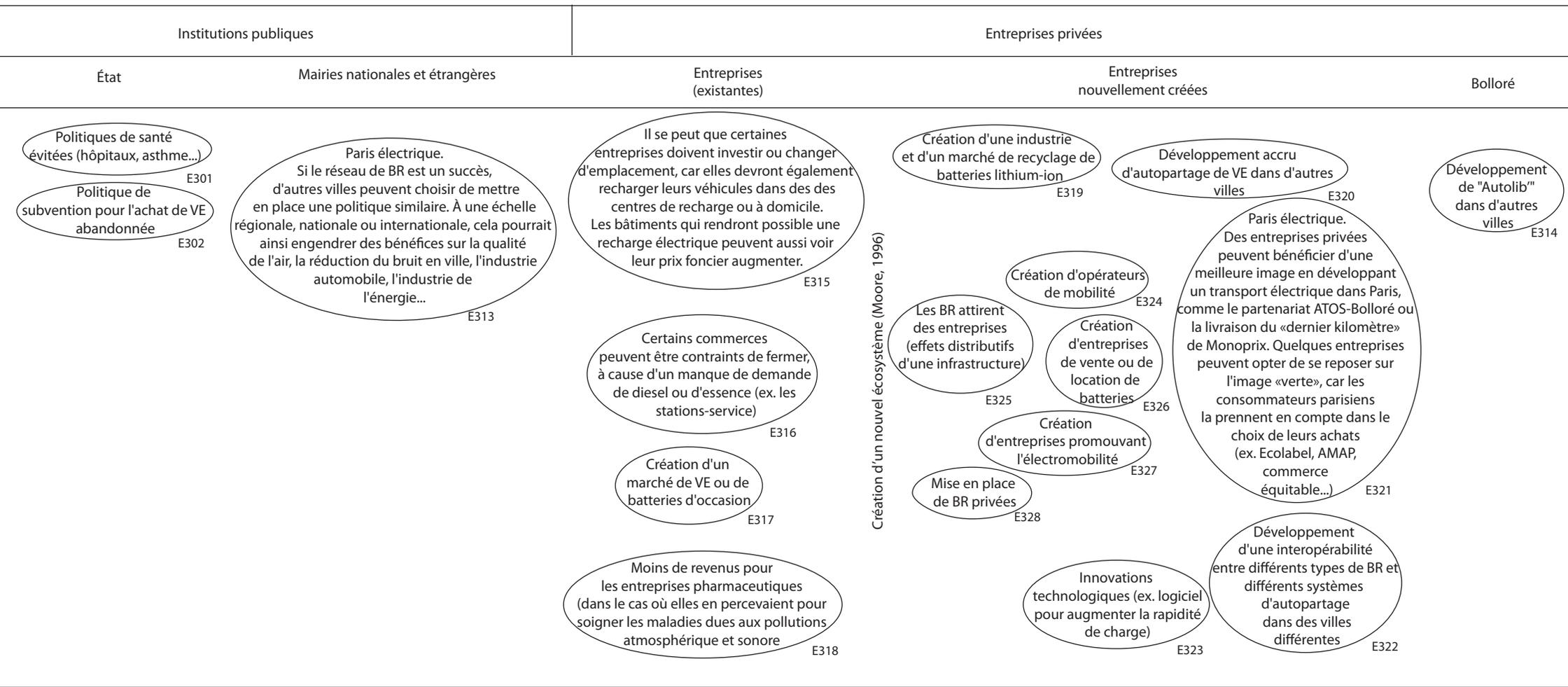
Entreprises (existantes)	EDF	Société
--------------------------	-----	---------

Mairie de Paris

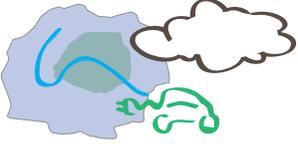


B	C	B	C	B	C
E215: Plus de consommateurs et de recettes	E215: Augmentation des coûts si la Mairie de Paris décide que le financement des BR est partagé par les commerces de proximité	E218: Augmentation des coûts	E218: Augmentation des coûts	E219: Bénéfices dus à la réduction d'émission	E223: Plus d'accidents
E217: Nouvelle activité => optimisation et augmentation des recettes	E217: Perte d'utilité et d'emplois			E220: Bénéfices dus à l'amélioration de la santé	
				E221: Bénéfices dus à la réduction de bruit	

B	C
E304: Coûts de mise en place	E304: Coûts de mise en place
E308, 309, 310: Coûts de mise en place	E308, 309, 310: Coûts de mise en place
E312: Création des places de parking ou mise en place des moyens de surveillance	E312: Création des places de parking ou mise en place des moyens de surveillance



B	C	B	C	B	C	B	C	
E301 et E302: Bénéfices car aucune politique ne doit être mise en place		E313: Augmentation de la qualité de l'air et de la santé sur l'exemple de Paris	E313: Coûts de mise en place	E317: Recettes dues à la vente de VE/batteries	E315: Augmentation du prix des loyers E316: Destruction des emplois et diminution des recettes	E318, 322, 323, 324, 325, 326: Création d'un nouvel écosystème, emplois, augmentation des recettes, changement de la STE parisienne E319: Augmentation des recettes dans d'autres villes E320: Entreprises et commerces bénéficient de l'image verte de Paris: augmentation des recettes E321: Création d'entreprises et réduction des embouteillages, amélioration de qualité de l'air et de la santé E327: Augmentation des recettes, pour chaque recharge de VE	E327: Coûts de mise en place	E314: Augmentation des recettes

						P4 Ajout: Développement de smart grids Plus de EV à Paris				
Entreprises privées			Société civile			Institutions publiques		Société civile		
EDF-Sodetrel		SNCF		Citoyens	Société	État		Société		
<p>EDF-Sodetrel obtient de nouveaux contrats avec d'autres villes grâce à leur expertise sur le cas parisien E329</p> <p>Mise en place de «smart grids» E330</p> <p>Développement de «smart grids» grâce à l'incitation de développement de BR (modèle «multifaces» de Bainée (2013)). EDF peut optimiser la distribution d'électricité et peut également faire plus d'économies à des échelles régionales ou nationales dans leur fourniture d'électricité (Barkenbus, 2009; Kempton & Tomić, 2005a, 2005b; Tomić & Kempton, 2007) E331</p>		<p>Utilisation accrue de trains et de rails à cause d'un report modal: Les VE ont une capacité d'action courte et le succès d'un système d'autopartage implique des évolutions dans le comportement des utilisateurs E332</p> <p>Déploiement d'une infrastructure de réseau de BR proche des stations de métro et de RER, dans le but d'assurer l'intermodalité (sur le principe des Park + Ride, il y aurait un Train + Mode Electrique) E333</p>		<p>Les prix des logements proches des BR peuvent augmenter, comme pour le cas de foncier proche d'une nouvelle infrastructure E334</p> <p>Changement de regard sur la mobilité et de comportement. Le télétravail peut même devenir une possibilité et se développer. E335</p> <p>Vente de VE ou de batteries d'occasion E336</p>	<p>Émergence et diffusion d'énergies renouvelables (Andersen et al, 2009) E337</p> <p>Cercle vertueux: certains habitants possédant déjà un VE peuvent en entraîner d'autres par effet d'imitation ou «effet de club» (Dupuy, 1993, 2002). Un individu veut posséder un VE dans le but d'avoir le même statut social que ses pairs, qui en possèdent déjà un. E338</p>	<p>Diminution de l'importation de diesel et d'essence => dans le budget de l'Etat, les fonds peuvent être alloués ailleurs E401</p> <p>Réduction de la TVA engendrée par la revente d'essence ou de diesel, aussi longtemps que l'électricité n'est pas soumise à la même taxe. E402</p>		<p>Paris électrique. Attractivité de Paris comme une ville innovante où l'air est pur. L'arrivée d'individus hautement qualifiés peut engendrer des activités innovantes et rend ainsi Paris plus attractive: on est en présence d'un cercle vertueux (Florida, 1995, 2010; Kahn, 2008) E403</p>		
B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	
E328: Augmentation des recettes grâce à l'émergence de nouveaux marchés	E329: Coûts de mise en place	E331: Plus de recettes	E332: Augmentation de l'usage du métro et du train	E334: Moins de pollution d'air, moins de bruit, moins d'embouteillages	E333: Augmentation du prix des loyers	E336: Optimisation d'énergie, amélioration de la qualité de l'air et de la santé	E337: Augmentation de VE vendus et bénéfiques dus à la réduction du bruit et à l'amélioration de la qualité de l'air	E401: Réduction de la pollution, amélioration de la santé	E402: Moins des recettes pour l'État et les régions	E403: Innovation, attractivité, compétitivité. Augmentation des recettes, ou du PIB parisien

10.3 Dynamique des interactions

Dans l'objectif de décrire ce qu'apporte à la STE chaque effet, nous écrivons pour chaque effet la variation des grandeurs concernées entre le début de la période \mathbb{P}_0 et le début de la période \mathbb{P}_1 , en fonction des caractéristiques propres à l'effet concerné. Comme dans le cas de la section 9.3, les notations utilisées renvoient à la section 6.4 et à la *frise* des effets anticipés, présentée en section 10.2.

10.3.1 La période \mathbb{P}_0

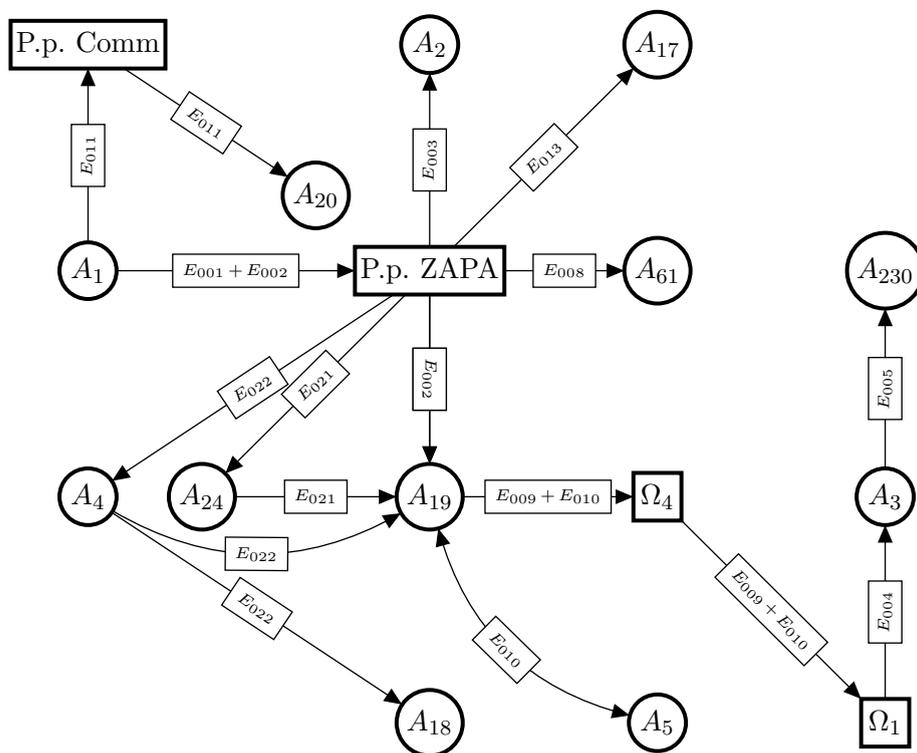


FIGURE 10.8 – Représentation graphique de la STE durant \mathbb{P}_0 .

Les effets E_{001} et E_{008} représentent le nombre d'éléments du paysage urbain à installer lors de la mise en place de la Zone à Circulation Restreinte (ZCR). Les coûts d'installation des infrastructures doivent être payés par la Ville de Paris (acteur A_1) à une entreprise d'aménagement de la voirie (acteur A_{61}), notamment les éléments du mobilier urbain, comme les panneaux, marquages au sol ou autres éléments d'affichage indiquant la présence d'une ZCR aux automobilistes. Ces coûts directs sont mesurables d'une façon certaine une fois décidé l'emplacement de la zone de restriction d'accès et les valeurs associées peuvent être calculées par les prix du marché :

$$\begin{aligned}
 (\Delta_0^1 \omega_{4,8})_{E_{001}} &= e_{1,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} \\
 (\Delta_0^1 a_{1,8})_{E_{001}} &= -e_{1,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{3,6}) \\
 (\Delta_0^1 a_{61,8})_{E_{008}} &= e_{1,1}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{3,6})
 \end{aligned} \tag{10.1}$$

où $p(\omega_{3,6})$ désigne le prix de mise en place d'un panneau ou d'un marquage au sol.

L'effet E_{002} représente les mesures d'accompagnement que propose la Ville de Paris pour les utilisateurs de véhicules thermiques au même moment de la mise en œuvre opérationnelle de la ZCR. Seuls trois exemples sont cités ici (les effets E_{021} , E_{022} et E_{023}) mais la prise en compte de mesures supplémentaires peut être réalisée de la même façon que le détail des paragraphes suivants :

L'effet E_{021} caractérise la gratuité d'un abonnement annuel à l'usage des transports publics en île-de-France (par le biais de l'offre d'un titre de transport appelé *Carte Navigo annuelle*) pour les utilisateurs de véhicules thermiques (VT) déclarant ne plus pouvoir les utiliser pour leur déplacement et souhaitant se reporter sur le mode de déplacement en transports collectifs (TC). Pour offrir ces titres de transport, nous faisons l'hypothèse que la Ville de Paris subventionne le Syndicat des Transports en Ile-de-France (STIF, acteur A_{24}) pour chaque titre de transport offert. Les coûts directs de cet effet sont donc des paiements de la Ville de Paris au STIF, qui sont transférés en nature aux anciens utilisateurs de véhicules thermiques et aujourd'hui utilisateurs

de transport en commun (nombre $e_{1,2}^{\mathbb{P}_{0,D}}$) :

$$\begin{aligned}
(\Delta_0^1 \omega_{4,7,VT \rightarrow TC})_{E_{021}} &= e_{1,2}^{\mathbb{P}_{0,D}} \\
(\Delta_0^1 a_{1,8})_{E_{021}} &= -e_{1,2}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{4,7,VT \rightarrow TC} \cdot \omega_{4,10}) \\
(\Delta_0^1 a_{17,8})_{E_{021}} &= -(\Delta_0^1 a_{1,8})_{E_{021}}
\end{aligned} \tag{10.2}$$

où $p(\omega_{4,7,VT \rightarrow TC} \cdot \omega_{4,10})$ désigne le prix d'un titre de transport annuel pour ceux qui arrêtent d'utiliser leur véhicule thermique ($\omega_{4,10}$) et qui préfèrent se déplacer en transport en commun plutôt qu'en véhicule thermique ($\omega_{4,7,VT \rightarrow TC}$). Ces deux paramètres sont nécessaires pour le calcul et ne sont probablement mesurables qu'au moyen d'enquêtes.

L'effet E_{022} propose comme mesure d'accompagnement un an d'abonnement gratuit au service d'autopartage électrique *Autolib'* pour les utilisateurs de véhicules thermiques qui auraient fait le choix de ne plus souhaiter circuler avec. Tout comme l'effet E_{021} précédent, la Ville de Paris doit subventionner l'entreprise *Bolloré* (acteur A_4) pour chaque utilisateur souhaitant profiter de cette mesure, et cette somme est transférée aux (anciens) utilisateurs de véhicules thermiques :

$$\begin{aligned}
(\Delta_0^1 \omega_{4,7,VT \rightarrow Autolib'})_{E_{022}} &= e_{1,3}^{\mathbb{P}_{0,D}} \\
(\Delta_0^1 a_{1,8})_{E_{022}} &= -e_{1,3}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{4,7,VT \rightarrow Autolib'} \cdot \omega_{4,10}) \\
(\Delta_0^1 a_{17,8})_{E_{022}} &= -(\Delta_0^1 a_{1,8})_{E_{022}}
\end{aligned} \tag{10.3}$$

où $p(\omega_{4,7,VT \rightarrow Autolib'} \cdot \omega_{4,10})$ désigne le prix d'un titre de transport annuel pour ceux qui arrêtent d'utiliser leur véhicule thermique ($\omega_{4,10}$) et qui préfèrent se déplacer en voiture en autopartage plutôt qu'en véhicule thermique ($\omega_{4,7,VT \rightarrow Autolib'}$). Ce dernier paramètre est également nécessaire pour le calcul et n'est probablement mesurable que par enquêtes.

L'effet E_{023} donne le nombre de subventions que la Ville de Paris doit attribuer à chaque acheteur de véhicule électrique (acteur A_{19}) qui en fait la demande. Ce coût direct est lié au fait que la ZCR ne restreint pas l'usage des véhicules électriques (VE) et qu'on peut s'attendre à une augmentation de leur nombre pour les déplacements parisiens. Par ailleurs, le nombre croissant de VE peut être dû à un report « modal » des VT, mais aussi éventuellement à ceux qui préfèrent maintenant se déplacer en VE plutôt qu'à pied ou en TC, par effet de club, ou simplement parce

que les embouteillages sont maintenant moins fréquents :

$$\begin{aligned}
(\Delta_0^1 \omega_{4,12})_{E_{023}} &= e_{1,4}^{\mathbb{P}_{0,D}} \\
(\Delta_0^1 a_{1,8})_{E_{023}} &= -e_{1,4}^{\mathbb{P}_{0,D}} p(\omega_{4,10} \cdot \omega_{4,7,VT \rightarrow VE} + \omega_{4,18} \cdot \omega_{4,7,piétons \rightarrow VE} + \omega_{4,19} \cdot \omega_{4,7,TC \rightarrow VE}) \\
(\Delta_0^1 a_{19,8})_{E_{023}} &= -(\Delta_0^1 a_{1,8})_{E_{023}}
\end{aligned} \tag{10.4}$$

où $p((\omega_{4,7,VT \rightarrow VE} + \omega_{4,7,piétons \rightarrow VE} + \omega_{4,7,TC \rightarrow VE}) \cdot \omega_{4,10})$ désigne le coût pour la Ville de Paris d'une subvention à l'achat d'un véhicule électrique qu'elle octroie à ceux qui font l'achat d'un véhicule électrique et font la demande de cette subvention, que ce soit car ils arrêtent de se déplacer en VT ($\omega_{4,10}$), à pied ($\omega_{4,18}$) ou en transport en commun ($\omega_{4,19}$). L'effet E_{023} est bien sûr une anticipation de l'effet E_{188} , qui intervient à un horizon temporel - et une période - ultérieurs, et qui nécessite une mesure du nombre de personnes susceptibles de faire un report modal vers le VE. Une difficulté supplémentaire s'ajoute lors de la construction d'enquêtes pour cette mesure : en effet, comme dans le cas de l'Enquête Globale Transports (EGT) réalisée en Ile-de-France par le STIF, il est probable que l'enquêteur n'ait accès qu'à une réponse caractérisant le mode de déplacement le plus fréquent, ou utilisé la veille⁹ et non pas une réponse générale. En outre, pour la mesure de la majorité des effets identifiés par le processus CoBAYe, une incertitude existe quant à la qualité de la réponse des individus soumis au questionnaire d'enquêtes, notamment parce que leurs modes de déplacements peuvent être variés et qu'ils ne déclarent que le mode principal. Qui plus est, quand bien même, tous les modes étaient déclarés, l'hétérogénéité dynamique de chaque individu interviewé rendrait une analyse des résultats ardue.

Une politique de communication et d'information au sujet de la mise en opération de la ZCR est anticipée à travers l'effet E_{011} . Ses coûts sont amputés au budget de la Ville de Paris, en fonction du nombre d'affiches, de tracts ou encore de campagnes télévisées par exemple. Les paramètres qui permettent de mesurer l'ampleur des coûts ne sont pas directement spécifiques au territoire Ω , mais plutôt au choix de l'ampleur de la politique de communication.

Par ailleurs, la mise en opération de la ZCR peut aller dans le sens du Plan de Déplacements Urbains en Ile-de-France (PDUIF) et ainsi être un bénéfice d'image pour ses rédacteurs, et notamment la Région Ile-de-France (acteur A_2). C'est ce que met en évidence l'effet indirect

9. Ces différences sont établies et anticipées dans la construction même du questionnaire d'enquête.

E_{003} . Cela peut à terme induire une augmentation du budget prévisionnel de la Région, même si une mesure réelle de ces gains d'image est difficilement réalisable :

$$(\Delta_0^1 a_{2,8})_{E_{003}} = e_{2,3}^{\mathbb{P}_{0,D}} \quad (10.5)$$

À une échelle hiérarchique supérieure, le gouvernement national (acteur A_3) est aussi bénéficiaire indirect de la mise en opération de la zone de restriction automobile si elle a effectivement pour but de réduire la pollution atmosphérique dans la capitale. En effet, la France est assignée à la Cour de Justice Européenne pour non-respect des valeurs limites de dépassement en concentration de polluants atmosphériques (PM_{10} et NO_2) dans seize de ses territoires, incluant Paris. Dans le cas où les concentrations de polluants sont réduites, la France aurait donc à payer une amende inférieure au montant prévu dans la STE de référence. Le montant de ce bénéfice ne dépend à nouveau pas des caractéristiques du territoire Ω mais plutôt du montant de l'amende facturée au gouvernement national.

En fonction de la « technologie » choisie pour contrôler l'entrée et la circulation de « véhicules polluants » à Paris, des « frais » peuvent s'ajouter à la mise en opération de la ZCR. Par exemple, dans le cas où un contrôle par les forces de police (acteur A_{23}) ou par des agents de surveillance est nécessaire, on peut s'attendre à un transfert d'argent public pour l'emploi de nouveaux agents. Les données nécessaires à ce calcul (nombre d'agents et salaire) sont évidemment liées au choix du contrôle des véhicules par la Mairie de Paris, et peu dépendants des ressources du territoire Ω .

La mise en opération d'une ZCR peut favoriser les modes actifs et encourager par exemple l'usage du vélo ou du vélo à assistance électrique (VAE). L'effet indirect E_{009} caractérise une augmentation potentielle de l'usage du vélo, qui peut être mesurée avec les paramètres de préférence de modes de déplacement $\omega_{4,7,VT \rightarrow \text{vélo}}$, $\omega_{4,7,TC \rightarrow \text{vélo}}$ ou encore $\omega_{4,7,\text{piétons} \rightarrow \text{vélo}}$. L'effet E_{010} est l'anticipation d'un usage plus fréquent des VAE et également l'augmentation du nombre d'achat de ces VAE, ce qui peut avoir des conséquences sur l'infrastructure de recharge électrique. Il s'agit à nouveau d'un effet indirect, puisque le marché du vélo électrique et celui de l'usage des bornes sont liés par des interdépendances existantes initialement. Il n'y a pas eu de création d'activités, mais simplement une évolution, que l'on considère à nouveau positive. Cette externalité

positive de consommation (le vendeur de vélo augmente son activité) et de production (si les bornes de recharge installées initialement (voir Chapitre 9) sont utilisées pour la recharge de vélos également, l'utilité de la Mairie de Paris et de *Bolloré* sera également plus importante) se mesure au moyen du nombre de vélos achetés par rapport au scénario de référence et sa valorisation monétaire est aisée, puisqu'il s'agit d'un bien marchand. L'incertitude porte en revanche sur l'ampleur de l'évolution de la vente de ce bien. D'une part, cette grandeur dépend de la préférence individuelle à utiliser un vélo électrique $a_{19,7,v^*}$; d'autre part, un effet d'image peut se produire selon lequel l'utilisation de vélos électriques par des concitoyens peut inciter chaque individu à les imiter, une tendance paramétrée par un coefficient $\epsilon_{19,2}$. L'expression de ces deux tendances forment le premier aspect de l'effet E_{010} , lequel inclut également le déboursement des citoyens nouvellement possesseurs de vélos électriques :

$$\begin{aligned} (\Delta_0^1 \omega_{4,3,v^*})_{E_{010}} &= \left(1 - \omega_{4,2,v^*}^{\mathbb{P}_0}\right) \left(a_{19,7,v^*} + \epsilon_{19,2} \cdot \omega_{4,2,v^*}^{\mathbb{P}_0}\right) \\ (\Delta_0^1 a_{19,8})_{E_{010}} &= \left(-p(v^*) + \min\left(e_{1,2}^{\mathbb{P}_0, I}, \epsilon_{1,2}^{\mathbb{P}_0, I} \cdot p(v^*)\right)\right) \Delta_0^1(\omega_{6,1} \cdot \omega_{4,3,v^*}) \end{aligned} \quad (10.6)$$

La préférence individuelle à se déplacer à vélo $a_{19,7,v^*}$ peut être estimée à partir des caractéristiques du territoire, soit ici :

$$a_{19,7,v^*} = \sum_{\mu} \omega_{4,7,\mu \rightarrow v^*}$$

si ceux-ci sont connus. Dans le cas contraire, il faut la mesurer sur le territoire, par exemple selon un modèle densité-coût¹⁰ :

$$a_{19,7,v^*} = \alpha_{19,7,v^*} f(\rho) g(p(v^*))$$

où $\alpha_{19,7,v^*}$ désigne la préférence en cas de coût nul du vélo et d'accès immédiat à une borne, $\rho = \frac{\omega_{4,8}}{\omega_{1,1}}$ la densité de bornes de recharge installées, et les fonctions f, g vérifient :

$$\begin{aligned} f(0) = 0 \quad f \nearrow \quad \lim_{\infty} f &= 1 \\ g(0) = 1 \quad g \searrow \quad \lim_{\infty} g &= 0 \end{aligned}$$

10. Ce modèle a aussi été décrit dans l'évaluation de la création d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques au Chapitre 9.

Dans ce cas, un des intérêts de l'outil d'aide à la décision CoBAYe est ici mis en évidence : les étapes de mesure et de valorisation monétaire de l'effet $e_{19,2}^{\mathbb{P}_0, \mathbb{I}}$ dépendent de la préférence individuelle à se déplacer à vélo $a_{19,7,v^*}$ et de ses caractéristiques en cas de coût nul du vélo et de la disponibilité des ressources du territoire $\alpha_{19,7,v^*}$. CoBAYe met en lumière comment ces grandeurs sont reliées et montre ainsi clairement ce qu'il est nécessaire de mesurer pour avoir un résultat fiable. Le lecteur peut ainsi, grâce à cet outil, avoir à l'esprit que les deux grandeurs $a_{19,7,v^*}$ et $\alpha_{19,7,v^*}$ doivent par exemple faire l'objet d'enquêtes auprès des usagers de la route pour avoir un résultat pertinent au sujet de l'effet E_{010} : L'utilisation pratique de CoBAYe permet donc également d'identifier précisément les variables et grandeurs qui doivent faire l'objet de recherches supplémentaires, et nous pensons qu'il s'agit là également d'un des objectifs d'un outil d'aide à la décision ¹¹.

10.3.2 La période \mathbb{P}_1

L'effet induit E_{101} concerne l'entretien des éléments qui ont été construits pour la mise en opération de la ZCR. Il intervient sur le budget de la Ville de Paris, dont la modification, représentée par $(\Delta_1^2 a_{1,8})_{E_{101}}$, peut être calculée à partir du taux de dégradation de l'équipement $\omega_{3,7}$ et des valeurs marchandes des réparations des éléments construits dans le cadre de la ZCR $\omega_{3,6}$.

Des mesures d'accompagnement supplémentaires peuvent également être anticipées et réalisées par la Mairie de Paris, par exemple une poursuite des effets E_{021} , E_{022} et E_{023} . Le calcul peut être fait de la même façon, mais il nécessite une définition préalable de la mesure à évaluer.

Par ailleurs, si la mise en opération de la ZCR engendre une utilisation plus importante des véhicules électriques en ville, les bornes de recharge pour véhicules électriques en voirie sont utilisées, ce qui confère à la Mairie d'une part des gains liés au prix de la recharge et, d'autre part, des bénéfices d'image pour la Ville (la mesure de ces-derniers est difficile, et la

11. La section 6.3 présente une discussion plus approfondie au sujet de quelques autres intérêts de l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

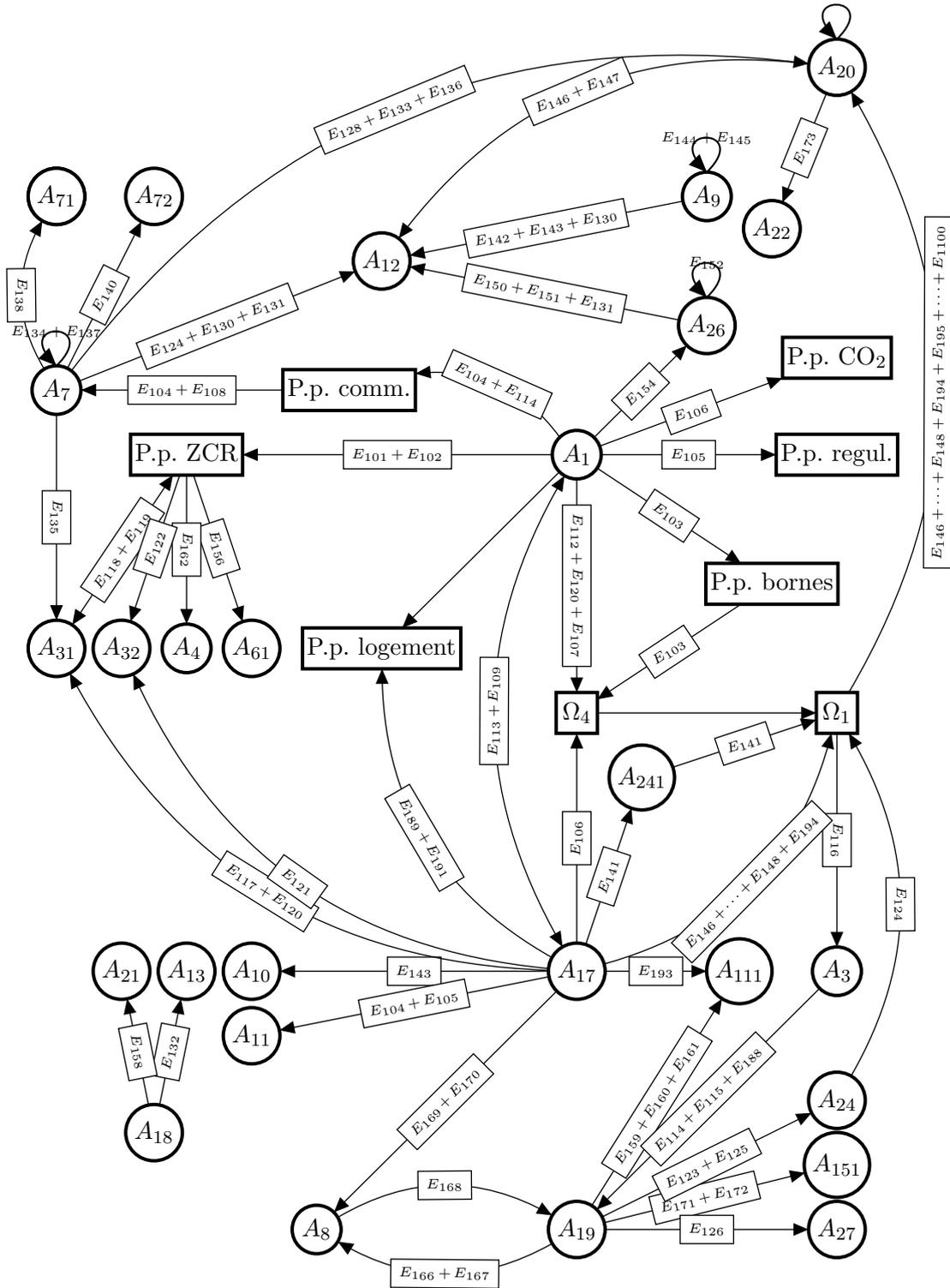


FIGURE 10.9 – Représentation graphique de la STE durant \mathbb{P}_1 .

valorisation monétaire encore plus, même si des enquêtes ou des interviews peuvent faire émerger un consentement à payer) :

$$(\Delta_1^2 a_{1,8})_{E_{103}} = \omega_{3,8} \cdot \omega_{4,11} \cdot p(\omega_{3,8}) \quad (10.7)$$

où $\omega_{3,8}$ est le nombre de bornes de recharge électrique, $p(\omega_{3,8})$ le prix de cette recharge et $\omega_{4,11}$ la fréquence d'usage de ces bornes, dont la mesure est nécessaire.

Sur le même principe, si la mise en opération de la ZAPA engendre une utilisation plus importante du vélo (traditionnel ou électrique) en ville, la Ville de Paris peut anticiper la création de pistes cyclables supplémentaires, en propre ou à contre-sens cyclable (effet E_{107}). De manière plus générale, elle peut aussi favoriser l'usage des modes actifs (effet E_{111}). Ces effets induits correspondent d'ailleurs à la politique de la Mairie en vigueur depuis plus d'une dizaine d'années, et concordent avec les volontés des associations favorisant l'usage du vélo en ville. Les coûts de construction des pistes cyclables sont amputées du budget de la ville, selon :

$$(\Delta_1^2 a_{1,8})_{E_{107}} = \delta\omega_{3,9} \cdot p(\omega_{3,9}) \quad (10.8)$$

où $\delta\omega_{3,9}$ est l'accroissement du nombre de pistes cyclables en ville et $p(\omega_{3,9})$ le prix linéaire de construction, par exemple.

L'effet induit E_{105} représente les coûts d'une politique publique de contrôle ou de surveillance de contrevenants éventuels à la ZCR, additionnels à l'effet E_{005} . L'incertitude de cet effet porte sur son occurrence et son ampleur, et sa mesure dépend évidemment du mode de contrôle choisi (caméras ou agents de surveillance) :

$$(\Delta_1^2 a_{1,8})_{E_{105}} = -\delta\omega_{4,21} \cdot p(\omega_{4,21}) \quad (10.9)$$

où $\delta\omega_{4,21}$ est la variation du nombre d'agents de sécurité et $p(\omega_{4,21})$ leur salaire.

A l'inverse, des politiques pour enrayer les effets du changement climatique (telles que la réduction des émissions de gaz à effet de serre) peuvent être favorisées à l'échelle locale si moins de

véhicules thermiques circulent au sein de la ZCR. L'effet induit E_{106} envisage plusieurs bénéfices, comme la diminution de la concentration en CO_2 dans la ville, les effets d'image occasionnés pour la Ville de Paris et également l'anticipation que peuvent avoir les édiles sur les gains attendus s'il n'est pas nécessaire de créer une nouvelle politique environnementale dans le futur. Les gains pour la société peuvent alors s'écrire :

$$(\Delta_1^2 a_{20,8})_{E_{106}} = (\omega_{4,7,VT \rightarrow VE} + \omega_{4,7,VT \rightarrow piétons} + \omega_{4,7,VT \rightarrow vélo} + \omega_{4,7,VT \rightarrow TC}) \omega_{4,10} \cdot \epsilon_{4,10,VT \rightarrow CO_2} \quad (10.10)$$

où $\epsilon_{4,10,VT \rightarrow CO_2}$ est un paramètre représentant les émissions de CO_2 d'un véhicule thermique¹².

Plusieurs autres effets induits peuvent être anticipés par la Ville de Paris mais, sans information supplémentaire sur leurs caractéristiques, une méthode de mesure ou de calcul n'est pas aisée. On peut par exemple citer :

- les effets E_{112} et E_{108} , qui caractérisent l'interdépendance des secteurs de mobilité de voyageurs et de marchandises, d'environnement et de logement par exemple. En effet, si une ZCR engendre un report modal conséquent vers les transports collectifs, l'arbitrage entre emplois, logements, centres de distribution et même espace public peut être amené à être repensé, par exemple sur le foncier à développer en fonction de l'offre de TC ou plutôt à densifier. De même, en fonction du renouvellement éventuel de la flotte de véhicules utilitaires, un aménagement différent des centres de distribution peut être anticipé.
- les effets E_{109} et E_{113} caractérisent quant à eux une réduction anticipée de dépenses publiques suite à la mise en opération de la ZCR. En effet, si celle-ci s'accompagne d'une baisse de la circulation de véhicules thermiques, alors d'une part, des dépenses budgétaires pour réduire la congestion ne sont peut-être plus nécessaires (dans le cas où les VT ne sont pas remplacés par des VE, ce qui peut être mesuré par $\omega_{4,7,VT \rightarrow VE}$ par exemple) et, d'autre part, la pollution émise par ces véhicules affecte moins le bâti parisien, et

12. Evidemment, le paramètre $\epsilon_{4,10,VT \rightarrow CO_2}$ est lui-même une moyenne de plusieurs données existantes sur les émissions de CO_2 par type de véhicule en fonction de leur marque, leur motorisation, leur année de fabrication, leur usure... Une étude plus approfondie peut chercher à affiner ce paramètre : une matrice plutôt qu'un scalaire pourrait permettre d'ajuster différents paramètres pour chaque véhicule en fonction de ses caractéristiques, par exemple.

en particulier les éléments du patrimoine historique. Les dépenses publiques pour sa protection seraient donc également réduites.

Un autre acteur public, le gouvernement national, peut également être amené à anticiper sur des dépenses ou des bénéfices futurs une fois la ZCR opérationnelle. En effet, si cette mesure encourage l'usage du véhicule électrique en ville, elle peut engendrer une augmentation du nombre d'octroi de subventions à l'achat pour véhicules électriques (effet E_{114}) ou vélos à assistance électrique (effet E_{115}). Sur un autre volet, la réduction de circulation de véhicules thermiques entraînera une diminution des émissions de polluants atmosphériques par ces mêmes sources et réduira peut-être le taux de maladies respiratoires à Paris, surtout chez les individus les plus fragiles (personnes âgées, enfants, nourrissons, dont le trajet en poussette est à hauteur du pot d'échappement). Une réduction des dépenses de santé est alors probablement à envisager si la ZCR est efficace (effet E_{116}) :

$$\begin{aligned} (\Delta_1^2 a_{3,8})_{E_{114}} &= -(\delta\omega_{4,12})_{E_{114}} \cdot p(VE) \\ (\Delta_1^2 a_{3,8})_{E_{115}} &= -(\delta\omega_{4,13})_{E_{115}} \cdot p(VAE) \end{aligned} \quad (10.11)$$

où $\delta\omega_{4,12}$ et $\delta\omega_{4,13}$ sont les augmentations respectives du nombre de véhicules électriques et de vélos à assistance électrique, et $p(VE)$ et $p(VAE)$ leurs prix respectifs (en moyenne)¹³. Les deux premiers paramètres doivent être mesurés, par exemple au moyen d'une analyse contingente, alors que les deux suivants peuvent être dérivés des prix du marché.

La ZCR peut également avoir des conséquences sur d'autres communes (acteurs A_{31} et A_{32}) que Paris. En effet, la revente de véhicules thermiques parisiens, qui ne sont plus acceptés à Paris, peut engendrer une augmentation du trafic dans d'autres villes (effet E_{117}). Le report de trafic est difficilement mesurable *ex-ante*, même avec la connaissance de la préférence d'un mode de déplacement sur un autre, car l'ampleur de la revente des véhicules d'occasion d'une part et l'hypothèse selon laquelle d'autres véhicules thermiques n'auraient pas été achetés dans le scénario de référence d'autre part peuvent difficilement être anticipés. Ces effets induits E_{120} et E_{121} peuvent toutefois être caractérisés par des coûts pour la société dus à une augmentation des

13. Si une mesure plus précise est souhaitée, ce n'est plus un prix mais une gamme de prix qui est nécessaire, par exemple sous la forme d'une matrice dans laquelle chaque prix est associé à un type de véhicules.

émissions de particules polluantes :

$$\begin{aligned}
e_{31,1}^{\mathbb{P}_1, \text{I}} &= \delta\omega_{4,14} \cdot \omega_{4,1} \cdot \omega_{4,15} \\
e_{31,4}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} &= (\Delta_1^2 \omega_{4,14})_{E_{120}} \\
e_{32,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} &= (\Delta_1^2 \omega_{4,14})_{E_{121}} \\
(\delta\omega_{1,2})_{E_{120}} &= \delta\omega_{4,14} \cdot \omega_{4,1} \cdot \omega_{4,15} \cdot (\epsilon_{4,14,VT \rightarrow PM_{10}} + \epsilon_{4,14,VT \rightarrow NO_2})
\end{aligned} \tag{10.12}$$

où $\epsilon_{4,14,VT \rightarrow PM_{10}}$ et $\epsilon_{4,14,VT \rightarrow NO_2}$ sont les paramètres exprimant les émissions de particules fines et de dioxyde d'azote par des véhicules thermiques, $\omega_{4,1}$ la proportion d'individus se déplaçant régulièrement et $\omega_{4,15}$ la proportion d'automobilistes modifiant leurs trajets à travers les communes A_{31} et A_{32} à cause de la mise en opération de la ZCR.

Par conséquent, deux stratégies peuvent être anticipées de la part des maires des communes A_{31} et A_{32} :

1. soit des actions politiques agissant comme un frein à la mise en opération de la ZCR parisienne (effet E_{118}), essentiellement de la part des communes de la « petite couronne parisienne » (acteur A_{31} en particulier) ;
2. soit, au contraire, des actions politiques visant à également créer une ZCR sur leur territoire, sur l'exemple de la capitale (effets E_{119} et E_{122}).

Le Syndicat des Transports en Ile-de-France (STIF) peut également anticiper certaines actions induites par la mise en place de la ZCR. Plus de passagers peuvent souhaiter prendre les transports en commun (effet E_{123}), l'offre de ces transports collectifs peut nécessiter une réactualisation en fonction de la fréquence accrue (effet E_{124}) et il peut y avoir des passagers (actuels ou potentiels) eux-mêmes qui demandent une amélioration du confort et de la fiabilité des transports pour pouvoir pallier l'interdiction de circulation en véhicules particuliers thermiques (effet E_{125}) ; cette mesure nécessitant probablement un redimensionnement de l'offre TC :

$$e_{24,1}^{\mathbb{P}_1, \text{I}} = (\delta\omega_{4,2,TC})_{E_{123}} \tag{10.13}$$

où $\delta\omega_{4,2,TC}$ est l'augmentation de la proportion des voyageurs qui se déplacent en transports collectifs. Ce paramètre peut, par exemple, être mesuré par $\omega_{4,7,VT \rightarrow TC}$. L'anticipation sur le

changement de fréquence ou de capacité des voitures des trains peut, quant à elle, être déterminée par $e_{24,1}^{\mathbb{P}_{1,I}}$ et également $\omega_{4,7,VT \rightarrow TC}$.

La RATP (acteur A_{25}) peut également percevoir des recettes si la mise en opération de la ZCR s'accompagne d'un report modal important sur les TC (effet E_{126}). Par ailleurs, l'activité des bus, minibus ou des cars de tourisme, appartenant ou pas à la RATP, peut également être renforcée dans le cas où moins de VT circulent dans Paris (effet E_{141}). Les augmentations $(\delta\omega_{4,2,TC})_{E_{126}}$ et $(\delta\omega_{4,2,TC})_{E_{141}}$ doivent directement être mesurées ou anticipées en fonction de la préférence du mode de déplacement VT vers les TC $\omega_{4,7,VT \rightarrow TC}$:

$$\begin{aligned} e_{25,1}^{\mathbb{P}_{1,I}} &= (\delta\omega_{4,2,TC})_{E_{126}} \\ (\Delta_1^2 a_{25,8})_{E_{126}} &= e_{25,1}^{\mathbb{P}_{1,I}} p(ticket) \end{aligned} \quad (10.14)$$

où $p(ticket)$ est le prix d'un ticket de transport. L'équation caractérisant le budget de la RATP suite à l'effet indirect E_{126} n'est bien sûr pas complète puisqu'il faut y intégrer les coûts « non-visibility » relatifs au redimensionnement de l'offre ou aux modifications de fréquence ou de confort.

Même si leurs effets sont *a priori* moins visibles, les conséquences de la ZCR ont également en effet sur les entreprises de livraison. Quatre cas se dessinent alors :

1. *Un renouvellement de leur flotte de véhicules.* Les effets induits qui en découlent sont la revente de véhicules anciens (effet E_{128}) ou l'achat de nouveaux véhicules essence ou diesel (effet E_{129}) qui, eux, sont pour l'instant toujours autorisés à circuler au sein de la ZCR. Les entreprises de livraison perçoivent alors des bénéfices liés à la vente de véhicules ou, au contraire, des coûts suite à l'achat de nouveaux VT :

$$\begin{aligned} e_{7,1}^{\mathbb{P}_{1,U}} &= \omega_{4,10} \cdot \omega_{6,11} \cdot (\delta\omega_{4,16})_{E_{128}} \\ e_{7,2}^{\mathbb{P}_{1,U}} &= (\delta\omega_{4,14})_{E_{129}} \cdot \omega_{6,11} \cdot \delta\omega_{4,3,VT \text{ neuf}} \\ (\Delta_1^2 a_{7,8})_{E_{128}} &= e_{7,1}^{\mathbb{P}_{1,U}} p(VT \text{ d'occasion}) \\ (\Delta_1^2 a_{7,8})_{E_{129}} &= -e_{7,2}^{\mathbb{P}_{1,U}} p(VT \text{ neuf}) \end{aligned} \quad (10.15)$$

où $\omega_{6,11}$ est le pourcentage de livreurs circulant à Paris, $\delta\omega_{4,16}$ est l'augmentation du nombre de revendeurs de VT et $\delta\omega_{4,3,VT\text{ neuf}}$ l'augmentation du taux de possession de VT neufs. La mesure de ces données, nécessaire pour évaluer les effets E_{128} et E_{129} , doit également s'accompagner des prix marchands des deux types de VT. Les formulations ($p(VT\text{ d'occasion})$) et ($p(VT\text{ neuf})$) renvoient à une moyenne mais les calculs peuvent être faits de façon plus précise en agrégeant les valeurs des véhicules avec leurs types, ce qui donnerait plutôt $\int_{\text{prix vt occasion-}}^{\text{prix vt occasion+}} \delta e_{7,1}^{\mathbb{P}_{1,U}} dp(vt)$ et $\int_{\text{prix vt neuf-}}^{\text{prix vt neuf+}} \delta e_{7,2}^{\mathbb{P}_{1,U}} dp(vt)$.

2. *Un changement de motorisation.* Devant le manque actuel de véhicules utilitaires électriques variés, notamment pour des charges utiles importantes, les entreprises de livraison peuvent choisir de faire pression sur l'industrie automobile pour qu'elle propose une autre gamme de véhicules utilitaires électriques. Le cas échéant, il est possible d'anticiper le fait que les entreprises de livraison achètent des VE (effet E_{131}), revendent leurs VT non-utilisés (effet E_{133}) et, par conséquent, fassent leur « plein » aux bornes électriques plutôt qu'à la pompe (effet E_{132}) :

$$\begin{aligned}
e_{7,4}^{\mathbb{P}_{1,U}} &= \delta\omega_{4,12} \cdot \omega_{6,11} \\
e_{7,5}^{\mathbb{P}_{1,U}} &= (\delta\omega_{4,12} - \delta\omega_{4,14})_{E_{132}} \\
e_{7,6}^{\mathbb{P}_{1,U}} &= e_{7,1}^{\mathbb{P}_{1,U}} \tag{10.16} \\
(\Delta_1^2 a_{7,8})_{E_{129}} &= - \int_{\text{prix ve-}}^{\text{prix ve+}} \delta\omega_{4,12} dp(ve) \\
(\Delta_1^2 a_{15,8})_{E_{132}} &= -\delta\omega_{4,14} \cdot p(\text{plein de carburant})
\end{aligned}$$

Enfin, le changement de motorisation peut conduire à l'apparition de nouveaux comportements de mobilité pour ces entreprises de livraison. En effet, une mutualisation de la flotte de véhicules professionnels peut également être promue par les entreprises elles-mêmes, selon le modèle de Bainée (2013). Par exemple, des entreprises de livraison peuvent choisir de partager un VE en fonction des horaires propres à leur activité (primeurs le matin, livraison de courrier rapide et de plateaux-repas pendant la journée et alimentation réfrigérée ou déchets le soir). Un nouveau modèle économique pourrait alors être engendré, autant que des partenariats entre les entreprises concernées, une optimisation des trajets et routines pour réduire les coûts ou peut-être même une coopération future sur d'autres activités : certains coûts de transaction pourraient alors être évités et une meilleure connaissance des routines de ses partenaires pourrait amener à de futures idées de coopérations (des primeurs

pourraient vendre directement des fruits et légumes à des entreprises d'alimentation qui utiliseraient le même véhicule pour leur livraison par exemple).

3. *Un renoncement au déplacement.* Même si la probabilité d'occurrence de cet effet semble très faible, certaines entreprises de livraison peuvent tout simplement choisir de ne plus achalander Paris pour concentrer leur activité sur des villes dans lesquelles ne figure pas de ZCR (effet E_{135}). Le volume des bénéfices et des coûts n'est pas forcément modifié, mais la répartition est sans doute différente. Un autre comportement pouvant survenir est que les entreprises de livraison « délocalisent » leurs véhicules polluants dans d'autres communes sans ZCR et les remplacent par des VE ou des véhicules fonctionnant au gaz naturel de ville, selon les dispositions d'autorisation de la ZCR. Ce cas est alors ramené à une catégorie de l'effet E_{121} .

4. *Un changement des routines de livraison.* Enfin, un dernier comportement peut être anticipé par les entreprises de livraison dans leur objectif de s'adapter aux nouvelles dispositions de circulation à l'intérieur de la ZCR parisienne. Un changement des routines de livraison, par exemple un acheminement en deux temps des marchandises, par un PL thermique de Rungis à un centre de distribution, puis de ce-dernier aux commerces à Paris (« dernier kilomètre » en véhicule non-diesel), peut engendrer des surcoûts de livraison, qui seraient imputés aux consommateurs (effets E_{137} et E_{136}). Enfin, un développement d'autres modèles de livraison peut aussi être anticipé, comme un acheminement partagé entre plusieurs entreprises (effet E_{139}) ou un développement plus important de l'interconnexion entre les livraisons en transport routier et celles par voie ferroviaire (effet E_{138}) ou fluviale (effet E_{140}). Plusieurs données spécifiques aux transporteurs sont toutefois nécessaires pour obtenir une mesure précise de ces effets, comme le surcoût réel de livraison s'il existe un changement de routines, le nombre de livreurs, le temps additionnel du passage par un centre de distribution et de transfert de marchandises entre les véhicules thermique et électrique, le débit des marchandises transportables en fonction de la charge utile ou encore les coûts d'installation et d'appropriation des routines de livraison (optimisation, emplois, installation sur un réseau déjà existant...).

Les artisans (réparateurs, ouvriers...), professionnels mobiles, et même les conducteurs de taxis (acteurs A_9 et A_{26}) peuvent également anticiper une modification de leur activité, en fonction d'un des quatre comportements précédents :

1. un renouvellement de leur flotte de véhicules,
2. un changement de motorisation,
3. un renoncement au déplacement, ou
4. un changement des routines de livraison.

Ces effets induits (E_{142} à E_{152}) peuvent alors être mesurés en fonction des mêmes paramètres que ceux des entreprises de livraison, détaillés dans la description des effets E_{129} , E_{131} , E_{133} et E_{137} .

Des effets additionnels peuvent toutefois être anticipés par les conducteurs de taxis. En effet, s'ils ne renouvellent pas leur véhicule ni ne changent de motorisation, ils courent un risque plus important de concurrence par d'autres opérateurs qui auraient fait le changement (comme Uber par exemple), ce qui réduirait leurs bénéfices actuels (effet E_{153}). En revanche, en prenant le pli d'un changement de motorisation par exemple, ils peuvent au contraire anticiper un renforcement de leur activité (effet E_{154}). Enfin, et même si la question est déjà largement soumise à débat, une réduction de la circulation des VT en ville peut favoriser l'essor des taxis : l'augmentation de leur nombre et la baisse du prix de leur licence pourrait alors peut-être voir le jour pour favoriser ce changement de comportement et de mobilité :

$$\begin{aligned}
e_{26,4}^{\mathbb{P}_1, I} &= (\delta\omega_{4,14})_{E_{153}} \\
(\delta\omega_{1,2})_{E_{153}} &= e_{26,4}^{\mathbb{P}_1, I} (\epsilon_{4,10,VT \rightarrow NO_2} + \epsilon_{4,10,VT \rightarrow PM_{10}}) \\
(\Delta_1^2 a_{26,8})_{E_{153}} &= -e_{26,4}^{\mathbb{P}_1, I} p(\textit{course}) \\
(\Delta_1^2 a_{26,8})_{E_{154}} &= (\delta\omega_{4,14})_{E_{154}} \omega_{4,7,VT \rightarrow taxis} \\
(\delta\omega_{6,17})_{E_{155}} &> 0
\end{aligned} \tag{10.17}$$

où $p(\textit{course})$ désigne le prix d'une course de taxi.

Parmi les entreprises et commerces parisiens, il est possible d'anticiper une catégorie de bénéficiaires et de déficitaires de la mise en opération de la ZCR à la période \mathbb{P}_1 . Parmi les bénéficiaires :

- les fabricants de filtres à particules (acteur A_{61}) : si une des mesures dérogatoires de la Ville de Paris est, comme dans le cas des autres pays européens ayant mis en place des « *Low Emission Zones* », l'autorisation de circuler pour un VT ayant installé un filtre à particules sur son pot d'échappement, alors les entreprises de fabrication et d'installation de ces filtres peuvent anticiper une hausse de leurs revenus $(\Delta_1^2 a_{61,8})_{E_{156}}$, calculée en fonction du prix de l'achat et de l'installation de filtres à particules et du nombre de VT concernés par ces achats $(\delta\omega_{4,14})_{E_{156}}$.
- les entreprises existantes de vente de vecteurs de déplacement (acteur A_{111}), comme des vélos, des vélos à assistance électrique, ou encore d'accessoires à ces modes actifs (trottinettes, casques de vélos...), dont les gains peuvent être mesurés à partir des prix marchands de leurs biens offerts, du nombre de vélos vendus, du nombre de VT vendus $(\delta\omega_{4,14})_{E_{187}}$, mais aussi de paramètres territoriaux comme le nombre de kilomètres de pistes cyclables $\delta\omega_{3,9}$, la propension à utiliser les modes actifs $\omega_{4,7,VT \rightarrow modes\ actifs}$ ou encore la réduction de circulation ou de congestion urbaine $\delta\omega_{4,20}$.
- le groupe Bolloré (acteur A_4) peut quant à lui anticiper une utilisation croissante de ses voitures en libre-service *Autolib'* : cet effet indirect peut également être mesuré en fonction du nombre de VT vendus et de la propension des agents à se reporter pour certains motifs de déplacement sur l'autopartage (effet E_{162}) :

$$\begin{aligned}
e_{4,1}^{\mathbb{P}_{1,I}} &= (\delta\omega_{4,14})_{E_{162}} \omega_{4,7,VT \rightarrow Autolib'} + \omega_{4,7,piétons \rightarrow Autolib'} \\
&\quad + \omega_{4,7,TC \rightarrow Autolib'} \\
(\Delta_1^2 a_{4,8})_{E_{162}} &= e_{4,1}^{\mathbb{P}_{1,I}} p(\textit{utilisation Autolib'})
\end{aligned} \tag{10.18}$$

où $p(\textit{utilisation Autolib'})$ représente les gains pour Bolloré de chaque utilisation d'*Autolib'* en fonction de l'abonnement choisi.

- d'autres entreprises fournisseuses de services de mobilité, autres que Bolloré, peuvent se développer grâce à la réduction de circulation des VT et aux besoins toujours existants de déplacements dans la ville et sa proche périphérie : ainsi des entreprises d'autopartage (effet E_{163}), de covoiturage (effet E_{164}) ou de covoiturage d'entreprise (effet E_{165}), éventuellement favorisées par des plans de déplacement d'entreprise (PDE), peuvent voir le jour et se développer grâce à la mise en opération de la ZCR. Dans ce cas, et *a fortiori* si les véhicules

utilisés ne sont pas thermiques, on peut alors même observer une réduction de la pollution de trafic en ville :

$$\begin{aligned}
e_{10,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} &= (\delta\omega_{4,14})_{E_{163}} \omega_{4,7,VT \rightarrow autopartage} + \omega_{4,7,piétons \rightarrow autopartage} \\
&\quad + \omega_{4,7,TC \rightarrow autopartage} \\
(\Delta_1^2 a_{10,8})_{E_{163}} &= e_{10,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} p(\text{abonnement opérateur d'autopartage}) \\
(\delta\omega_{1,2})_{E_{163}} &= (\delta\omega_{4,14} - e_{10,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}) (\epsilon_{4,10,VT \rightarrow NO_2} + \epsilon_{4,10,VT \rightarrow PM_{10}}) \\
e_{11,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} &= (\delta\omega_{4,14})_{E_{164}} \omega_{4,7,VT \rightarrow covoiturage} + \omega_{4,7,piétons \rightarrow covoiturage} \\
&\quad + \omega_{4,7,TC \rightarrow covoiturage} \\
(\Delta_1^2 a_{11,8})_{E_{164}} &= e_{11,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}} p(\text{abonnement opérateur de covoiturage}) \\
(\delta\omega_{1,2})_{E_{164}} &= (\delta\omega_{4,14} - e_{11,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}) (\epsilon_{4,10,VT \rightarrow NO_2} + \epsilon_{4,10,VT \rightarrow PM_{10}})
\end{aligned} \tag{10.19}$$

où $p(\text{abonnement opérateur d'autopartage})$ représente les gains de l'opérateur d'autopartage pour chaque utilisation d'un véhicule, en fonction de l'abonnement choisi, et $p(\text{abonnement opérateur de covoiturage})$ représente les gains pour un « covoitureur », qu'il soit question d'une entreprise ou d'un particulier.

- les commerces déjà existants à Paris peuvent anticiper des changements dans leurs prix (s'ils doivent augmenter leurs prix pour compenser l'augmentation des tarifs de livraison - effet E_{166}), dans leur clientèle (les commerces centraux peuvent avoir plus de difficultés pour être approvisionnés, ce qui peut entraîner un déplacement de leur clientèle - effet E_{167}), dans leur logistique (la livraison à domicile peut être de plus en plus prisée - effet E_{168}) ou encore dans leur stratégie « marketing » (si la circulation diminue, les restaurateurs peuvent s'approprier un peu plus l'espace public pour installer tables, menus ou publicités - effet E_{169}). Ces anticipations sont bien sûr incertaines tant dans leur occurrence que dans leur ampleur et la mesure des effets $e_{8,1}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}$ et $e_{8,3}^{\mathbb{P}_1, \text{U}}$ nécessite des enquêtes pour par exemple savoir si l'augmentation des prix des commerces est due à celle de la fourniture par les entreprises de livraison, ou pour savoir si la livraison à domicile peut être une réponse mutualisée de plusieurs commerces pour diminuer leurs coûts de livraison.

Parmi les déficitaires de la mise en opération de la ZCR, figurent en revanche :

- les concessionnaires, vendeurs de VT (acteur A_{121}),
- les stations-services (acteur A_{15}) et
- les garagistes (acteur A_{151})

qui peuvent tous les trois anticiper une baisse d'activités (effets E_{157} , E_{158} , E_{169} et E_{170}) si moins de VT sont en circulation à Paris (par exemple dans le cas où des VE ont remplacé ces véhicules); la mesure des pertes de ces acteurs dépendant des prix du marché pour leurs services et du nombre de VT n'étant plus en circulation à cause de la ZCR $\delta\omega_{4,14}$.

L'achat et la vente de véhicules thermiques et électriques n'existe pas sans l'intervention de l'industrie automobile, nationale ou étrangère (acteur A_{12}). En effet, même si celle-ci n'est *a priori* pas à l'intérieur du territoire parisien Ω , les anticipations et actions qu'elle peut avoir font partie des « *opportunity benefits* » définis en section 4.6.2. Deux cas peuvent alors être anticipés :

1. si les agents qui constituent la demande renouvellent leur flotte thermique :

- Plus de véhicules thermiques, neufs, peuvent être vendus : $(\delta\omega_{4,14})_{E_{174}} > 0$. Cet effet E_{174} a notamment eu lieu en 2007 et 2008 dans les autres pays européens ayant mis en place des « *Low Emission Zones* » ;
- Devant le signal lancé par les collectivités locales - et en particulier celui de Paris - l'industrie automobile peut être incitée à innover pour tenter de réduire les émissions de polluants au cours de la combustion. Un effet similaire à E_{175} a notamment contribué à récemment créer les normes européennes *Euro 5* et *Euro 6* ;
- L'industrie automobile peut mener des pressions contre les gouvernements - locaux ou nationaux - pour l'obtention de dérogations plus souples, afin notamment de pouvoir continuer à vendre une certaine gamme de véhicules thermiques (effet E_{176}).

2. Si les agents qui constituent la demande changent de motorisation :

- L'industrie automobile peut s'attendre à plus de véhicules électriques vendus : $(\delta\omega_{4,12})_{E_{177}} > 0$,
- *a contrario*, moins de véhicules thermiques risquent d'être vendus : $(\delta\omega_{4,14})_{E_{178}} < 0$, en faisant l'hypothèse que les agents ne conservent qu'un seul véhicule pour faire leurs déplacements¹⁴.

14. Cette hypothèse peut paraître forte dans le cas d'un changement de motorisation. En effet, si les agents n'ont pas confiance en l'autonomie d'un VE ou à sa facilité de recharge, ils peuvent préférer - s'ils en ont les moyens

- L'industrie automobile peut aussi s'attendre à devoir développer une nouvelle ligne de véhicules, notamment en ce qui concerne les VUL et les PL, en fonction des pressions des entreprises de livraison.

Par ailleurs, si la ZCR est d'une grande efficacité et si elle réussit à éviter un nombre important de patients atteints de maladies respiratoires, alors le personnel médical peut également anticiper des changements dans son activité : les hôpitaux, cliniques et médecins privés auront probablement moins de patients souffrant de telles maladies respiratoires. L'effet indirect E_{173} peut être considéré comme un coût pour le personnel médical, mais il s'agit également d'un bénéfice social si les citoyens sont moins malades.

Les derniers effets identifiés pendant la période \mathbb{P}_1 sont relatifs à la société en général. Une amélioration de la qualité de l'air (effet E_{197}) et une amélioration de la santé (effet E_{198}) peuvent par exemple être deux des conséquences positives de la mise en opération de la ZCR. Une diminution de la circulation automobile peut aussi diminuer le nombre d'accidents (effet E_{194}) si les utilisateurs de VT changent de mode de déplacement ($\omega_{4,7,VT \rightarrow TC}$ et $\omega_{4,7,VT \rightarrow piétons}$) ou leur comportement ($\omega_{4,7,VT \rightarrow autopartage}$, $\omega_{4,7,VT \rightarrow covoiturage}$ ou ont l'autorisation de se mettre au télétravail pendant certains jours de la semaine - effet E_{195}). Enfin, des effets induits sur l'espace public peuvent également être anticipés : en effet, si la circulation automobile est réduite, alors l'espace public est libéré et d'autres activités peuvent naître (effet E_{199}), comme un usage croissant des modes actifs, un essor plus important de commerces de proximité, ou encore le développement de jeux et loisirs de rue comme dans le cas des Berges de Seine en 2013 (effet E_{1100}). Ces effets sont bien sûr également incertains et nécessitent une mesure fiable pour leur évaluation, qui pourrait être réalisée au moyen d'enquêtes ou de retours sur des expérimentations urbaines (requalification de certains quartiers « prototypes ») par exemple.

10.3.3 Les périodes suivantes

Les changements de la STE liés à la mise en opération de la ZCR et le scénario de projet ainsi construit au moyen des périodes \mathbb{P}_0 et \mathbb{P}_1 engendrent un cadre propice pour la diffusion et le

- l'utilisation d'un VE pour les trajets urbains et la conservation d'un VT pour les trajets - hebdomadaires ou saisonniers - plus longs en province.

développement de l'usage du véhicule électrique en ville, notamment aussi grâce à la création de bornes de recharge pour véhicules électriques en ville. Pour cette raison, les effets additionnels relatifs aux périodes suivantes sont similaires à ceux qui peuvent être anticipés dans les périodes \mathbb{P}_2 et \mathbb{P}_3 du Chapitre 9. La discussion de leurs effets ne sera donc pas présentée à nouveau dans ce Chapitre. Le lecteur pourra, s'il le souhaite, se reporter aux sections 9.3.3 et 9.3.4. En revanche, les paragraphes suivants se distinguent de l'interprétation réalisée dans le Chapitre 9, puisqu'ils procèdent à un exemple d'analyse en aval de l'outil CoBAYe (section 10.4).

10.4 Analyse des « structures topo-économiques » : discussions

Cette section a pour objectif d'illustrer, à travers quelques exemples, des analyses qui peuvent découler de l'identification des effets de la mise en opération de la ZCR. En particulier, et contrairement au Chapitre 9, dans lequel l'accent été mis sur la valorisation monétaire des effets identifiés, nous développons ici ce que peut permettre une analyse des représentations graphiques des structures topo-économiques du scénario de projet.

10.4.1 Analyse statique des boucles

La représentation des structures topo-économiques sous forme de graphes orientés peut permettre des évaluations à la fois qualitatives et quantitatives, si les arcs peuvent être représentés sous forme de valeurs numériques¹⁵. De façon qualitative, il est notamment possible d'identi-

15. Il est possible de conduire une analogie avec l'électronique pour expliquer l'intérêt d'analyser les boucles des graphes, si les caractéristiques des interrelations entre acteurs sont assez détaillées. Dans le cas d'un circuit électrique *RLC* par exemple, nous obtenons :

- La tension aux bornes d'une bobine de courant s'écrit $u = L \frac{di}{dt}$, où L est l'inductance de la bobine, i est l'intensité du courant qui la traverse et t est le temps. En d'autres termes, u est sensible aux variations temporelles de i ;
- L'intensité traversant un condensateur peut être caractérisée par $i = C \frac{du}{dt}$, où C est la capacité du condensateur, u la tension à ses bornes et t le temps. Dans ce cas, i est sensible aux variations temporelles de u ;
- Dans le cas où ces deux dipôles sont en série, l'équation caractérisant le fonctionnement du circuit peut alors s'écrire $LC \frac{d^2u}{dt^2} + u = 0$, dont la résolution donne un comportement oscillatoire de la tension u , d'amplitude $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Dans ce cas, la tension u oscille entre deux valeurs bornées à mesure que le temps s'écoule. Il est alors possible de déduire des informations sur l'interdépendance entre les composants, telles que la fréquence du signal, la puissance et l'énergie de chaque dipôle entre autres. De la même façon, si les caractéristiques des relations d'interdépendance entre chaque acteur des graphes sont assez précises (par exemple la valeur monétaire des transferts entre eux), alors il est aussi possible d'en déduire des conclusions sur les relations de dominance entre chaque acteur par exemple.

fier les circuits d'interdépendance à travers les « boucles » des graphes. Une anticipation des comportements de chacun peut alors être réalisée, dans le but d'aider à la décision.

Évolution de la flotte de véhicules

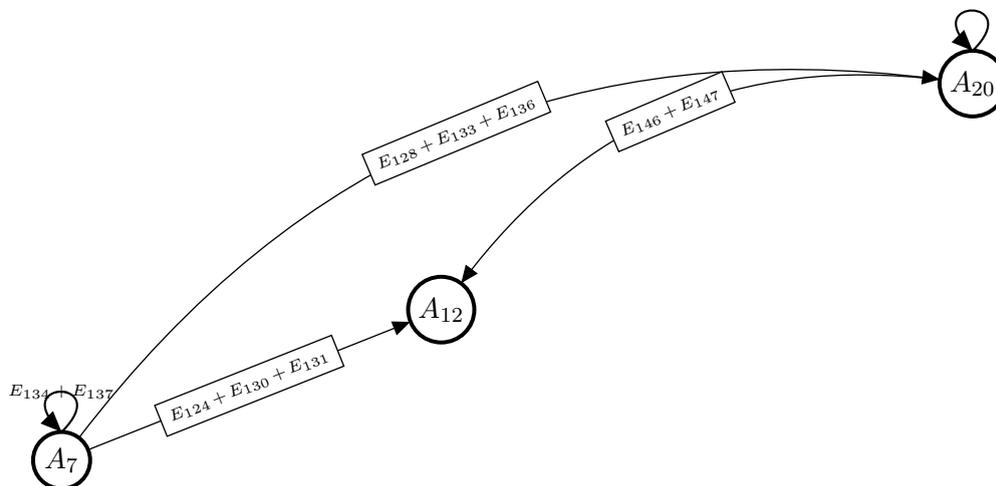


FIGURE 10.10 – Représentation graphique d'une semi-interdépendance de la STE durant \mathbb{P}_1 .

La Figure 10.10 met en évidence les conditions d'évolution des véhicules à la période \mathbb{P}_1 suite à la mise en place de la ZCR. Les entreprises de livraison (acteur A_7), contraintes de ne plus pouvoir circuler dans Paris avec leur flotte actuelle de véhicules thermiques (VT) du fait des nouvelles mesure publiques, font pression sur les industries automobiles (acteur A_{12}) pour que l'offre de véhicules électriques (VE) soit plus diversifiée, notamment en poids lourds (PL) et surtout en véhicules utilitaires légers (VUL), essentiels pour la livraison urbaine dans les conditions logistiques actuelles (effet E_{130}). Comme l'exprime l'effet E_{129} et comme les dispositions de la ZCR sont progressives, ils peuvent aussi acheter de nouveaux véhicules thermiques, notamment les plus récents (c'est-à-dire ceux pour lesquels la norme de la technologie du moteur est encore autorisée à circuler : Euro 5 ou Euro 6). L'industrie automobile peut alors anticiper le développement de nouvelles lignes de production électrique ou « propres » (effets E_{146} et E_{147}) et, en fonction de leur choix, les entreprises de livraison choisiront alors de revendre leurs anciens VT pour en acheter des nouveaux ou des VE (effets E_{128} , E_{131} et E_{133}). Cette « boucle » du graphe de la STE à \mathbb{P}_1 , qui exprime donc l'interaction entre entreprises de livraison, situés du point de

vue de la demande de véhicules, et l'industrie automobile, offreurs, peut continuer à mesure que de nouveaux véhicules - notamment utilitaires - seront nécessaires pour ne pas rompre les routines actuelles. Enfin, à mesure que cette interaction est croissante, on peut s'attendre à avoir $\delta\omega_{1,2} < 0$: la pollution engendrée par les VT diminue, ce qui peut améliorer la santé des citoyens.

De nouveaux comportements de mobilité

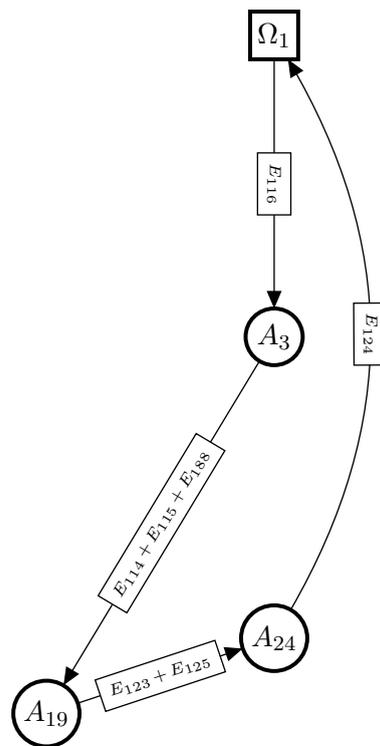


FIGURE 10.11 – Représentation graphique d'une interdépendance de la STE durant \mathbb{P}_1 .

L'analyse des boucles du graphe peut aussi mettre en évidence des interdépendances importantes pour une prise de décision publique, à l'échelle nationale. En effet, en considérant la Figure 10.11 et en centrant l'analyse sur le rôle du gouvernement national (acteur A_3), on peut mettre en évidence le phénomène suivant : les subventions accordées à l'achat de véhicules électriques (VE - effet E_{114}) ou de vélos à assistance électrique (VAE - effet E_{115}) peuvent induire un changement de modes de déplacement et de comportement de la part des citoyens. Cela peut se concrétiser en une augmentation du nombre de trajets en VE et peut-être également en un report modal

sur les transports collectifs (TC) - en vue d'une intermodalité TC-VE : une augmentation du nombre de passagers sur les lignes existantes (effet E_{123}) et une demande pour améliorer ou redimensionner l'offre de transport collectif (effet E_{125}) peuvent alors être anticipés. À son tour, le redimensionnement de l'offre de TC par le STIF (acteur A_{24}) peut inciter à des changements de comportement de mobilité, ce qui modifie ainsi les caractéristiques du territoire Ω_1 . Ces changements de comportement diminuent l'utilisation des VT et donc la pollution engendrée par ces modes de déplacement : $\delta\omega_{1,2} < 0$. Deux conséquences se présentent alors à l'État (acteur A_3) : poursuivre l'octroi de subventions à l'achat de véhicules électriques pour promouvoir l'accès aux véhicules « propres » et ainsi continuer à contribuer à diminuer la pollution de trafic, à la manière d'un cercle vertueux ou, au contraire, diminuer les dépenses publiques de mobilité et de santé, en tenant pour acquis que le marché s'adaptera aux évolutions de la demande pour les nouveaux véhicules et que la santé des citoyens est déjà en amélioration. Ces deux options, mises en évidence de façon qualitative par l'analyse des boucles, reflètent ici deux stratégies de politique budgétaire assez connues : une intervention de l'État, à la manière keynésienne ou une minimisation des dépenses publiques, plus proche d'un raisonnement néoclassique.

Interdépendances entre mobilité, énergie et santé

Enfin, la période \mathbb{P}_3 met en évidence une boucle caractérisant les relations d'interdépendance entre plusieurs secteurs différents, dont la connaissance peut être importante pour un décideur pour anticiper une évolution, voire une amplification, de la politique de création d'une infrastructure de bornes de recharge pour véhicules électriques à Paris. En effet, comme l'illustre la Figure 10.12, les interactions entre la Ville de Paris (acteur A_1) et la société (acteur A_{20}) se concrétisent par la modification de caractéristiques du territoire Ω_1 et Ω_3 influant sur trois secteurs différents : la santé, l'énergie et la mobilité.

Dans cet exemple, l'émergence et surtout la diffusion du véhicule électrique à Paris contribue à réduire la pollution atmosphérique ($\delta\omega_{1,2} < 0$) et réduit ainsi les dépenses publiques de santé. La création concomitante des « *smart grids* » permet alors de réduire la facture énergétique de la ville au moyen de comportements participatifs et incitatifs des particuliers : d'autres énergies renouvelables voient le jour et la pollution diminue en conséquence. Les dépenses « anti-pollution »

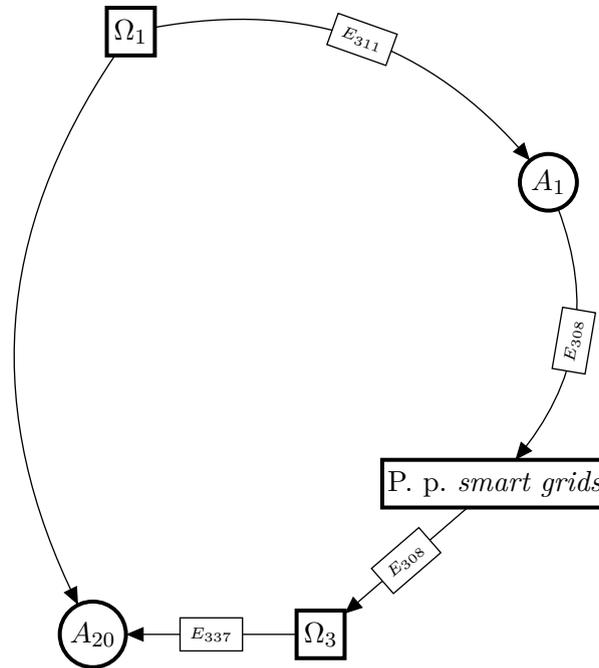


FIGURE 10.12 – Représentation graphique d’une interdépendance de la STE durant \mathbb{P}_3

ou de santé évitées peuvent alors être fléchées vers une autre dépense budgétaire comme d’autres investissements pour promouvoir une mobilité durable par exemple.

10.4.2 Analyse dynamique de l’évolution des relations entre acteurs

La section 10.4.1 a illustré des exemples d’analyses qualitatives « statiques », entendues comme à structure topo-économique constante. Il est en revanche également possible de chercher à analyser l’évolution de relations d’interdépendance au cours de périodes successives ou éventuellement l’évolution des relations propres à un acteur en particulier. Cette section 10.4.2 a donc pour but d’illustrer les analyses dynamiques centrées sur des acteurs spécifiques au moyen de la représentation de l’évolution des conséquences d’une décision par des structures de graphes orientés. Les acteurs choisis n’ont ici qu’une vertu illustrative et il est évidemment possible d’en prendre d’autres, le seul critère de leur choix dans cette section étant leur rôle dans la mise en opération de la ZCR.

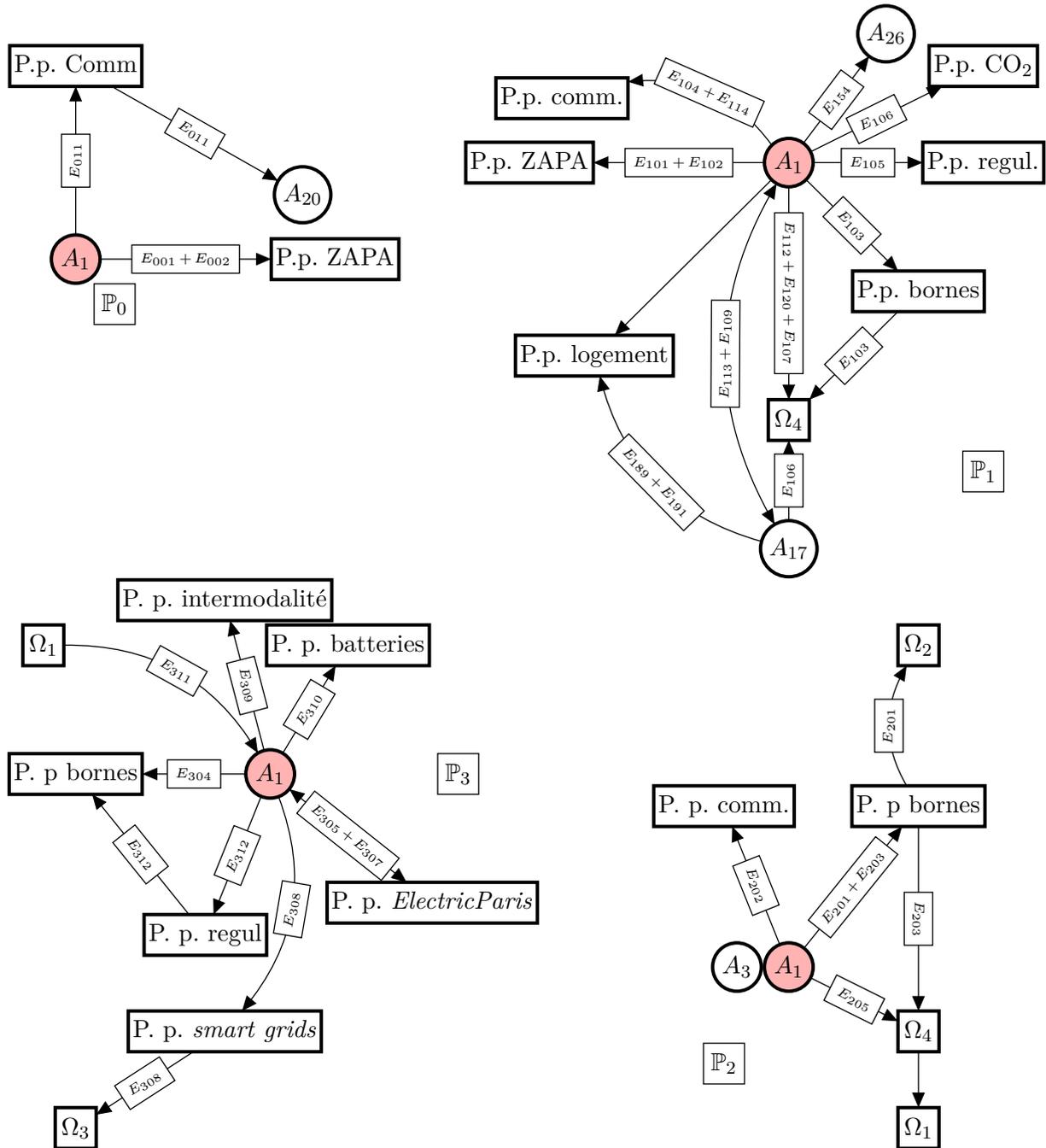


FIGURE 10.13 – Représentation graphique des relations d’interdépendances de la Ville de Paris à \mathbb{P}_0 , \mathbb{P}_1 , \mathbb{P}_2 et \mathbb{P}_3 , représentés dans le sens horaire respectivement.

La Ville de Paris - acteur A_1

L'analyse du rôle de la Ville de Paris (acteur A_1) dans la mise en opération de la ZCR est intéressante à plusieurs titres. Bien sûr, elle est à l'initiative du projet, puisqu'elle contribue à décider de la politique publique et à déboursier l'argent nécessaire pour sa mise en place. Cependant, dans une perspective d'aide à la décision, ou à l'amélioration des conditions d'opération de la ZCR ou de son financement, il nous a semblé intéressant d'identifier le rôle éventuel de la Ville de Paris non seulement au moment initial mais également aux périodes successives et concomitantes à la durée d'existence de la ZCR. En particulier, l'analyse des relations d'interdépendance entre la Ville de Paris et ses acteurs « voisins », et notamment l'évolution de son rôle, a attiré notre attention. Peut-on par exemple déceler dans le rôle de la Ville une politique budgétaire keynésienne, c'est-à-dire une dépense publique initiale en espérant que les acteurs privés, grâce à la consommation et aux anticipations des producteurs de biens ou de services de mobilité, essentiellement, contribuent à « relancer » l'économie (le multiplicateur keynésien étant alors supérieur à 1) ? ou bien la Ville de Paris doit-elle intervenir à chaque période pour garantir un bon fonctionnement de la ZCR et, le cas échéant, quelle serait l'ampleur de cette intervention ? ou bien doit-elle, à la manière de quelques gouvernements, proposer un accompagnement institutionnel de certaines entreprises privées, pour favoriser leur rayonnement dans d'autres collectivités françaises, voire au sein de métropoles étrangères (Dieuaide, 2014) ? Les résultats illustrés par la Figure 10.13 dépendent bien sûr des hypothèses prises dans la construction du scénario de projet ZCR, tant sur l'occurrence des effets que sur leur probabilité : les conclusions qui sont tirées de ce paragraphe sont par conséquent sujettes à ces mêmes incertitudes ¹⁶.

À la période \mathbb{P}_0 , la Ville de Paris met en place la ZCR. Par rapport au scénario de référence, ses seules dépenses budgétaires se limitent donc aux coûts de mise en opération de ce dispositif de restriction de la circulation. Toutefois, cette politique a des conséquences diverses sur de multiples acteurs sur le territoire et l'analyse des relations de l'acteur A_1 à la période \mathbb{P}_1 nous montre que la Ville de Paris est susceptible de devoir mettre en œuvre de nombreuses politiques

16. Nous pensons qu'une telle précaution est d'ailleurs nécessaire dans le document d'analyse par l'outil CoBAYe remis au décideur et qui contribuerait à aider à l'évaluation de la ZCR : si le décideur est au courant des hypothèses prises pour arriver aux résultats, il peut être en mesure de nuancer leur portée et leurs conséquences, voire d'invalider les hypothèses prises en demandant une autre analyse avec des modifications en fonction de données acquises ultérieurement au processus CoBAYe par exemple.

de soutien ou de développement pour assurer le bon fonctionnement de la ZCR : les coûts de mise en opération ne s'arrêtent donc pas à \mathbb{P}_0 : en témoignent par exemple les mesures de communication pour prévenir et alerter les usagers de la route sur le dispositif (effets E_{104} et E_{114}), ou encore les mesures à envisager pour empêcher d'éventuels contrevenants (effet E_{105}). En revanche, des « *opportunity benefits* » sont aussi à prévoir puisque d'une part, des mesures créées antérieurement s'avèrent cohérentes et utiles, comme par exemple la création d'un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques, nécessaire pour accueillir les véhicules « propres » remplaçant leurs homologues thermiques (effet E_{103}) et, d'autre part, des mesures supplémentaires sur la réduction de gaz à effet de serre peuvent être évitées si la restriction de circulation conduit à une réorganisation (et une réduction) des déplacements (effet E_{106}). L'analyse de la période \mathbb{P}_2 , en revanche, témoigne d'une activité réduite du rôle de la Ville de Paris qui n'a alors pour rôle que de poursuivre ou d'amplifier les mesures en place, notamment de communication (effet E_{201}) et de création de bornes de recharge (effet E_{202}). Enfin, la dernière période \mathbb{P}_3 envisagée dans les hypothèses du scénario de projet met en évidence un rôle moteur de la Ville de Paris pour profiter de la diffusion du véhicule électrique en ville et proposer à ses concitoyens de nouvelles politiques publiques destinées à favoriser la mobilité durable (effets E_{309} et E_{310}) et diminuer la facture énergétique de la capitale (effet E_{308}). Des bénéfices conséquents sont donc anticipés, à la fois relatifs au bien-être de la société mais aussi par un nouvel attrait de Paris, maintenant doté de ressources territoriales favorisant une mobilité et une consommation économes.

L'analyse dynamique menée précédemment relative à l'acteur *Ville de Paris* a ainsi permis d'anticiper des comportements futurs nécessaires du décideur public pour garantir l'efficacité de la mise en opération de la ZCR, si les hypothèses du scénario de projet construit se réalisent effectivement. On peut distinguer quatre étapes calquées sur les quatre périodes du scénario de projet :

- À la période \mathbb{P}_0 , la ZCR est créée.
- La période \mathbb{P}_1 se caractérise par plusieurs mesures que la Ville de Paris doit mettre en œuvre pour garantir l'efficacité du dispositif, le tout restant toutefois cohérent avec des mesures prises antérieurement.
- La période \mathbb{P}_2 concerne uniquement une extension ou une amplification de dépenses publiques existantes.

- Enfin la période \mathbb{P}_3 fait apparaître les interdépendances existantes entre d'autres secteurs et les politiques de développement que la Mairie de Paris peut anticiper pour encourager une mobilité durable, ainsi qu'une réduction de la pollution atmosphérique et de la consommation énergétique dans la capitale.

La société - acteur A_{20}

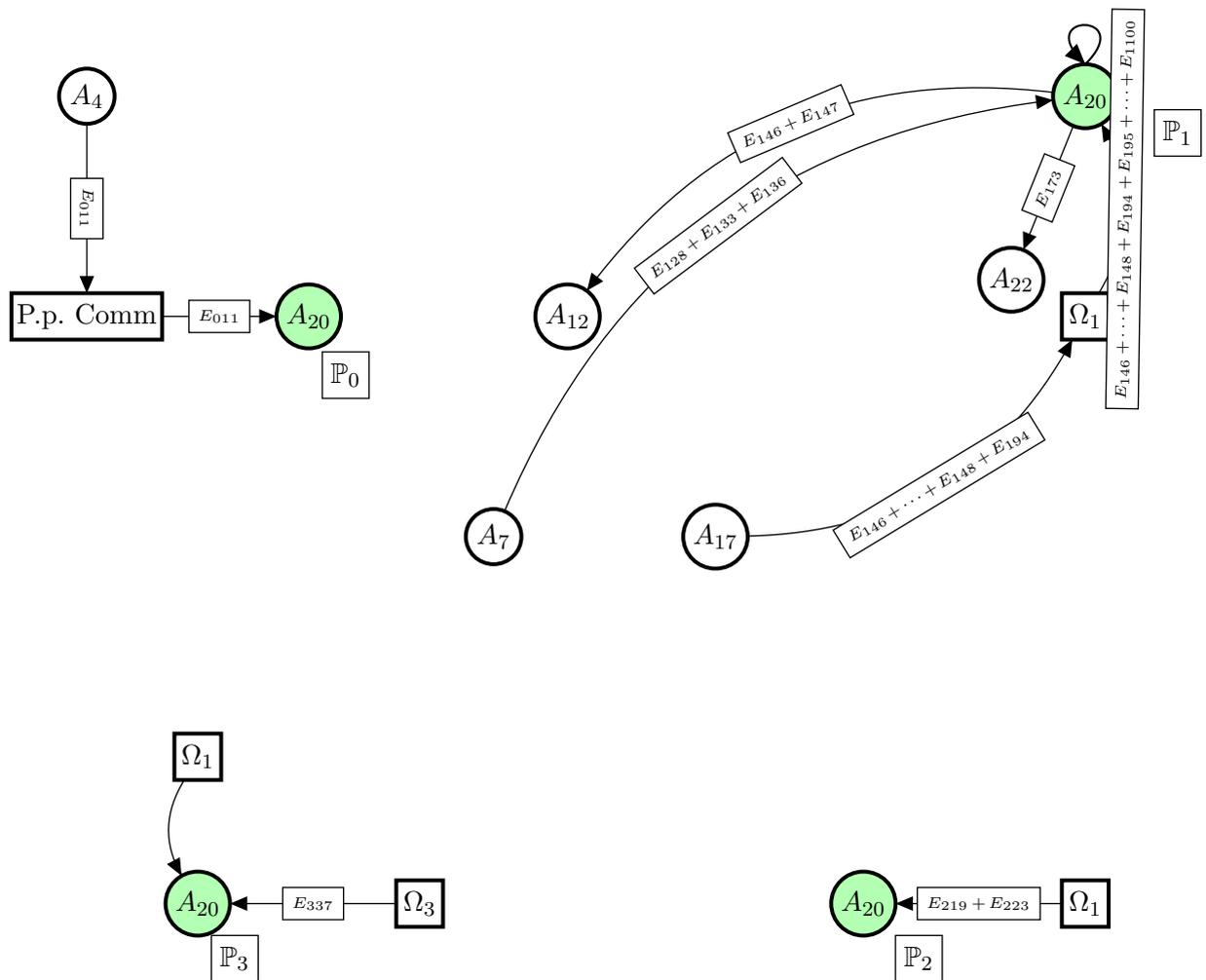


FIGURE 10.14 – Représentation graphique des relations d'interdépendances de la société à \mathbb{P}_0 , \mathbb{P}_1 , \mathbb{P}_2 et \mathbb{P}_3 respectivement, dans le sens horaire.

En se plaçant du point de vue d'un décideur public travaillant pour améliorer le bien-être de ses citoyens, il nous a semblé également intéressant d'illustrer les interdépendances de l'acteur A_{20} , représentant la société en général. Leur analyse dynamique, au cours des périodes \mathbb{P}_0 à \mathbb{P}_3 fait apparaître quasi uniquement des bénéfices. Dans le scénario envisagé, c'est-à-dire si la ZCR aboutit à la diminution de la circulation en ville, alors la société bénéficie d'une amélioration de la qualité de l'air et par conséquent de leur santé. Le détail peut être présenté de la façon suivante, en accompagnement de la Figure 10.14 :

- La période \mathbb{P}_0 met en évidence les efforts de la Ville de Paris pour favoriser l'acceptabilité sociale du dispositif ZCR par ceux qui pratiquent le territoire de la capitale, notamment les usagers de la route.
- La période \mathbb{P}_1 explicite sans doute le plus pourquoi la société bénéficie de la ZCR : la revente de véhicules thermiques non-utilisés, le changement de motorisation des usagers de la route, particuliers ou professionnels, le changement de comportements de mobilité avec la diffusion du covoiturage ou de l'autopartage, ou encore le renoncement au déplacement sont les facteurs qui peuvent expliquer une réduction de la circulation en ville et une diminution des émissions de polluants atmosphériques. Un coût pour la société est toutefois évoqué, même si l'incertitude quant à son ampleur est importante : le changement de motorisation des véhicules utilitaires et le passage à une flotte « propre » induit des modifications de trésorerie interne conséquentes pour les entreprises de livraison. Ce surcoût serait-il alors facturé aux commerçants et, *in fine*, aux consommateurs à travers une augmentation des prix des biens et services fournis ?
- Enfin, les périodes \mathbb{P}_2 et \mathbb{P}_3 mettent en évidence une amplification des phénomènes de la période \mathbb{P}_1 concernant la réduction de la pollution atmosphérique, contribuant à changer certaines des ressources du territoire parisien Ω_1 .

Bolloré et les commerces parisiens - acteurs A_4 et A_8

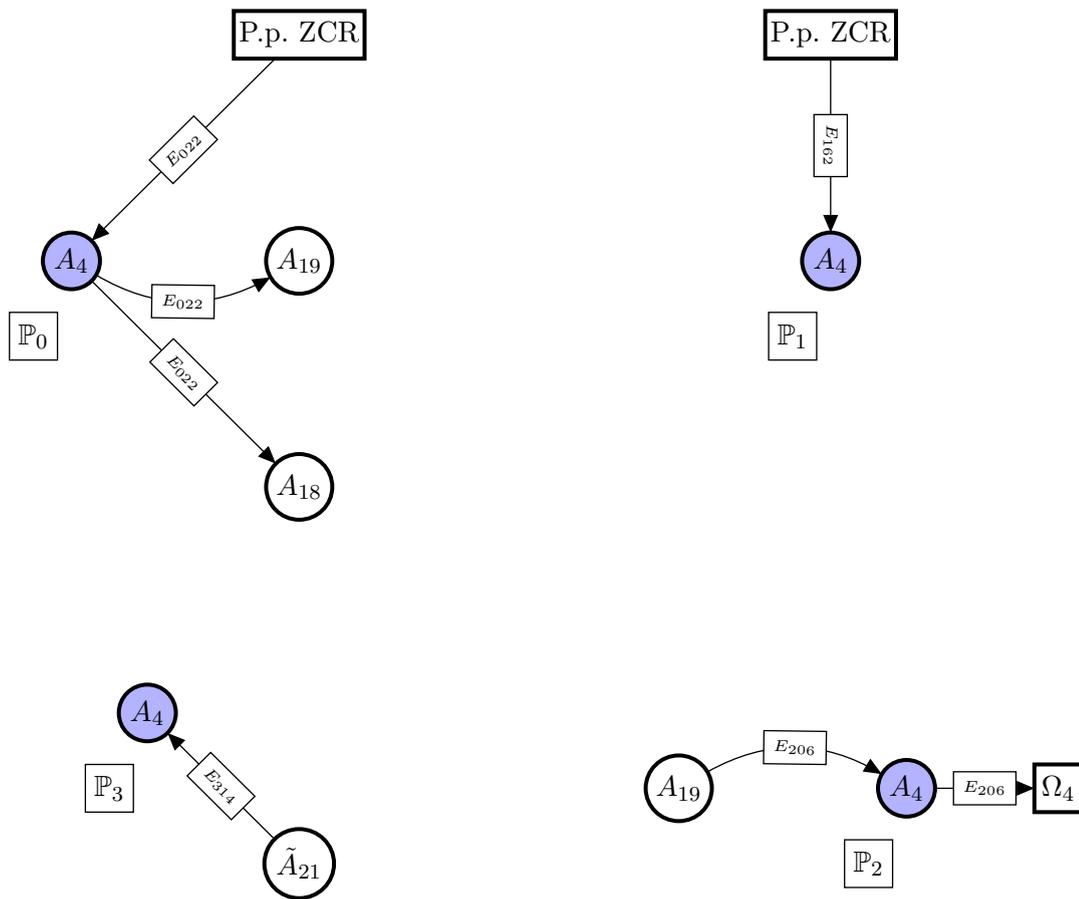


FIGURE 10.15 – Représentation graphique des relations d’interdépendances de l’entreprise Bolloré à \mathbb{P}_0 , \mathbb{P}_1 , \mathbb{P}_2 et \mathbb{P}_3 respectivement, dans le sens horaire.

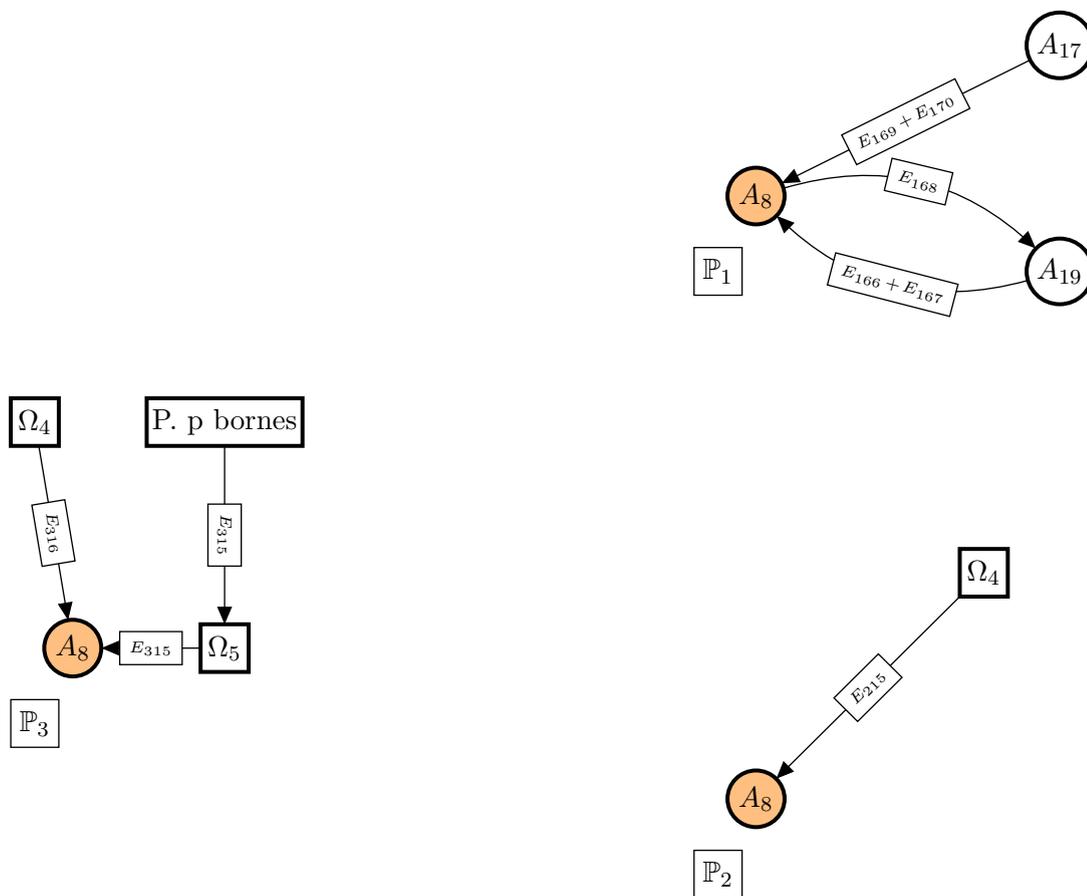


FIGURE 10.16 – Représentation graphique des relations d’interdépendances des commerces de Paris à \mathbb{P}_1 , \mathbb{P}_2 et \mathbb{P}_3 respectivement, dans le sens horaire. L’action des commerces parisiens n’est pas modifiée par rapport à la STE de référence à la période \mathbb{P}_0 .

L'analyse dynamique permet également de mettre en évidence le rôle de certains acteurs spécifiques du territoire, notamment ceux qui sont bénéficiaires de la mise en opération de la décision prise et ceux qui, au contraire, sont les plus affectés. Les Figures 10.15 et 10.16 sont deux illustrations de l'analyse qui peut être réalisée, comme détaillé ci-après. Une analyse normative peut même être réalisée. En effet, si l'acteur public anticipe des acteurs « gagnants », il peut négocier pour que ceux-ci participent au financement - direct ou indirect - de la politique publique. Enfin, l'analyse des acteurs bénéficiaires et « perdants » est également essentielle si le choix du décideur est axé sur des principes d'équité.

1. L'exemple de Bolloré est assez représentatif des activités privées qui peuvent largement bénéficier des dépenses publiques et de la réglementation du dispositif ZCR. Déjà implanté sur le territoire parisien, il est mis à contribution à la période \mathbb{P}_0 pour octroyer des abonnements gratuits aux véhicules électriques en libre-service *Autolib'*¹⁷. Les périodes \mathbb{P}_1 et \mathbb{P}_2 témoignent alors de la prise en compte, dans les hypothèses du scénario de projet, du développement croissant du véhicule en libre-service à Paris : une utilisation croissante d'*Autolib'* (effet E_{162}), suivie d'une amélioration de l'efficacité de ce système d'autopartage (effet E_{206}), qui peut se traduire par exemple par la création de nouvelles bornes de recharge pour véhicules électriques sur le territoire parisien. Enfin, la période \mathbb{P}_3 anticipe le développement de Bolloré sur d'autres territoires - nationaux ou internationaux - pour promouvoir le système de véhicules électriques en libre-service en ville, en utilisant Paris comme « vitrine publicitaire » (effet E_{314}).
2. L'acteur A_8 , désignant les commerces de Paris, est quant à lui représentatif des interdépendances entre les secteurs de la mobilité et du commerce. En particulier, il n'est ni bénéficiaire net, ni perdant net de la mise en opération de la ZCR, mais la mesure de ses gains et de ses pertes doit s'analyser avec précision et peut-être même au cas par cas¹⁸. La période \mathbb{P}_1 fait par exemple ressortir les effets sur l'approvisionnement des supermarchés d'une part (effet

17. Cette mise à contribution peut être uniquement un intermédiaire financier. En effet, dans les mesures d'accompagnement prévues par la Ville de Paris, l'acteur public peut choisir de subventionner lui-même l'abonnement à *Autolib'*, c'est-à-dire rembourser partiellement ou totalement Bolloré pour chaque abonnement gratuit fourni.

18. Une analyse au cas par cas, en fonction des commerces, nécessite alors pour plus de facilité de distinguer parmi les commerces de Paris différents cas, restaurateurs (acteur A_{81}), épiciers (acteur A_{82}), supermarchés (acteur A_{83}), vendeurs de vêtements (acteur A_{84}) ou encore agences de voyages (acteur A_{85}) par exemple. Évidemment, plus la distinction est fine et plus le résultat final sera précis, mais les mesures nécessaires seront sans doute aussi plus difficiles à mener. Enfin, il est possible de s'inspirer des travaux de l'APUR (2013) et de l'APUR (2014) pour une typologie des commerces parisiens.

E_{167}), rendus plus attractifs s'ils sont situés en périphérie de la ville ou le surcoût éventuel qui incomberait aux commerces à cause d'un changement de motorisation des véhicules des entreprises de livraison (effet E_{166}). À ces effets s'ajoute l'anticipation de l'essor de la livraison à domicile, qui remplacerait des déplacements des utilisateurs de véhicules thermiques (effet E_{168}). La période \mathbb{P}_2 , quant à elle, met en lien les nouvelles ressources du territoire avec les ventes des commerces parisiens : dans ce cas-ci, les commerces ou centres commerciaux dans lesquels existent des bornes de recharge pour véhicules électriques peuvent jouir d'une augmentation de leur vente pendant que leurs clients attendent que leur véhicule, branché à une borne de recharge, soit opérationnel¹⁹. Enfin, la période \mathbb{P}_3 anticipe les conséquences d'une ville sans véhicules thermiques sur certains commerces (comme les stations-services ou les garages) et aussi les évolutions marchandes des prix du foncier en fonction de la présence ou non de bornes de recharge pour véhicules électriques ou de la connexion à un « *smart grid* » (effet E_{315}). Ces effets, plus éloignés dans le temps, sont aussi plus incertains et renforcent l'importance d'une mesure fiable pour l'obtention de résultats précis.

10.4.3 Identification des paramètres clés

L'application de l'outil CoBAYe présentée dans ce chapitre a également permis de mettre en valeur des paramètres dont la mesure est nécessaire pour améliorer la fiabilité des résultats de l'évaluation, que ce soit dans une perspective *ex-ante*, concomitante ou *ex-post*. Le décideur peut alors choisir d'approfondir l'évaluation en demandant une mesure des paramètres qui lui paraissent les plus importants. Plusieurs techniques sont alors possibles, parmi lesquelles :

- *L'utilisation de données marchandes*. Il s'agit sans doute de la méthode considérée comme la plus aisée et objective. Pour certains effets identifiés, comme par exemple le coût de mise en place de panneaux indicatifs et de marquages au sol indiquant la future ZCR (effet E_{001}), ou la création de bornes de recharge pour véhicules électriques (effet E_{203}), les prix des différents biens peuvent être obtenus sur le marché en fonction de leurs caractéristiques. Ainsi, en fonction de la probabilité d'occurrence de chacun de ces effets, énoncée lors du processus de concertation, il est possible d'avoir une valeur quantitative

19. Cet effet induit E_{215} est plus approfondi dans la section 9.2.

les caractérisant, engendrant ainsi des résultats monétaires. Cette technique est bien sûr également utilisée pour l'attribution de valeurs monétaires lors de la réalisation d'une analyse coûts-bénéfices.

- *La modélisation numérique.* Dans certains cas, il est possible d'avoir certaines indications de mesure grâce à des outils de modélisation numérique, par exemple en ce qui concerne les impacts sur le trafic de voyageurs. Le décideur n'est en revanche pas toujours en mesure de posséder ces outils et, à nouveau, d'autres acteurs doivent être sollicités pour l'obtention de mesures quantitatives. Dans le cas des conséquences de la ZCR, par exemple, le report de trafic éventuel engendré par la mise en opération de la zone de restriction de circulation peut être modélisé par des organismes publics²⁰ ou privés²¹ (effet E_{117}) et le report modal sur les transports collectifs (effet E_{123}) peut être modélisé par le Syndicat des Transports en Ile-de-France (STIF) ; les deux modèles nécessitant bien sûr des hypothèses de report (population concernée, ampleur), leurs résultats sont par conséquent sujets aux choix de ces hypothèses.
- *L'interview, pour obtenir des données spécifiques à certains acteurs.* Certains des effets identifiés lors du processus CoBAYe mettent en évidence des paramètres dont la mesure est liée à un acteur en particulier. Deux cas sont même possibles, selon que la donnée existe déjà au moment de la réalisation du processus, ou que celle-ci doit être trouvée au moyen de recherches supplémentaires. En effet, la section 10.2 fait apparaître des acteurs spécifiques comme les entreprises de livraison (effets E_{128} à E_{137}), les entreprises de taxis (effets E_{150} à E_{152}) ou les artisans (effets E_{142} à E_{145}) pour lesquels des interviews peuvent s'avérer nécessaires pour déterminer quelle sera leur comportement en réaction à la mise en œuvre opérationnelle de la ZCR : un renouvellement de leur flotte de véhicules, un changement de motorisation, un renoncement au déplacement ou une modification des trajets initiaux, par exemple (effet E_{127}) ? De plus, certains des paramètres intrinsèques aux véhicules en circulation, comme par exemple les émissions kilométriques de CO_2 ou de polluants locaux NO_2 et PM_{10} par un véhicule thermique ($\epsilon_{4,10,VT \rightarrow CO_2}$, $\epsilon_{4,10,VT \rightarrow NO_2}$ ou

20. La Direction Régionale Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement (DRIEA) modélise par exemple les flux de circulation sur les autoroutes d'Ile-de-France aux heures de pointe et en moyenne aux heures creuses.

21. Des entreprises privées, comme *CDVIA* par exemple, entreprennent également la modélisation des déplacements franciliens pour pouvoir identifier les gains de temps éventuels des voyageurs en fonction des modes de déplacement entrepris.

$\epsilon_{4,10,VT \rightarrow PM_{10}}$ respectivement) sont des caractéristiques qui dépendent de la motorisation bien sûr, mais également des conditions de circulation (nature de la chaussée, vitesse, cycles accélérations-décélérations entre autres...). Les entreprises de construction d'automobiles, mais aussi des entreprises indépendantes²², peuvent alors être sollicitées pour apporter plus d'informations sur ces paramètres en fonction du véhicule concerné. Enfin, il est parfois essentiel de procéder à des questionnaires auprès de certains acteurs pour obtenir une mesure quantitative d'un effet : l'augmentation éventuelle des prix des biens vendus par un commerce parisien en répercussion de celle de leurs fournisseurs, qui ont dû puiser dans leur trésorerie pour changer de véhicule (effet E_{166}), ne peut *a priori* pas être connue par un autre moyen.

- *Les enquêtes.* Les enquêtes ont pour but de connaître avec plus de précision le comportement d'acteurs particuliers, en nombre trop important par exemple pour réaliser des interviews. En fonction de la nature des questionnaires (semi-directifs, directifs...) et des moyens à disposition du décideurs (humains et monétaires), il est alors possible d'obtenir des informations spécifiques à une décision en particulier, comme par exemple la propension d'un voyageur pendulaire à choisir le vélo (effet E_{009}), l'autopartage (effet E_{163}) ou le covoiturage (effet E_{164}) comme mode de déplacement s'il est concerné par une impossibilité de circuler en véhicule thermique dans la ZCR parisienne. Des enquêtes existent déjà au sujet de la mobilité urbaine, comme l'Enquête Nationale Transports (ENT) et l'Enquête Globale Transports (EGT) à l'échelle nationale et régionale (francilienne) respectivement : en fonction des effets identifiés, elle peuvent être suffisantes ou complémentaires pour l'obtention d'informations quantitatives relatives à la mesure des effets.
- *Une transposition de résultats d'autres territoires.* Dans certains cas, la décision qui est évaluée a déjà fait l'objet d'une mesure sur un autre territoire : la ZCR par exemple, peut être perçue comme une déclinaison des « *Low Emission Zones* » européennes et, à ce titre, une incertitude sur les conséquences de la ZCR et leur ampleur à Paris pourrait

22. À titre d'exemple, l'entreprise *NodBox* développe des simulateurs intégrés à un véhicule qui peuvent permettre une mesure de tels paramètres $\epsilon_{4,10,VT \rightarrow NO_2}$ en fonction du parcours en site réel d'un véhicule. Dans le cadre des projets AACT-AIR, destinés à « améliorer la qualité de l'air grâce à l'action des collectivités », l'ADEME a d'ailleurs financé en octobre 2013 un consortium réunissant la Ville de Paris, l'entreprise *NodBox* et l'Université Paris XII dans l'objectif « d'identifier et de quantifier les facteurs qui influencent les émissions de polluants et de gaz à effet de serre des véhicules en milieu urbain dense, en s'appuyant sur le cas du territoire parisien » afin de connaître au mieux les facteurs qui engendrent les émissions de particules polluantes en ville (ADEME, 2013a).

être comblée par une transposition des informations émanant des territoires ayant mis en place ces « *Low Emission Zones* ». L'évaluation peut alors s'inspirer de ces informations ou même les utiliser comme telles dans le cas où seul un ordre de grandeur est recherché. Par exemple, un des éléments les plus discutés en ce qui concerne la mise en place de la ZCR est son mode de contrôle. Des villes comme Berlin ou Londres ont choisi à ce sujet deux modes très différents : d'une part, en Allemagne, l'utilisation de vignettes de couleur apposées sur les véhicules et le recours à des agents de circulation pour vérifier si les véhicules en circulation « sont de la couleur autorisée » et, d'autre part, la mise en place d'un réseau de caméras fixes et mobiles à Londres pour contrôler les plaques d'immatriculation des véhicules et ainsi vérifier s'ils sont autorisés à circuler (en fonction de leur émission de particules au kilomètre parcouru, et des normes Euro). Les retours d'expérience de ces deux villes peuvent alors aider au choix du mode de contrôle pour la ZCR parisienne en fonction de leur efficacité, de leur coût ou encore des caractéristiques institutionnelles et législatives propres à la France.

Enfin, il existe des cas pour lesquels l'application d'une technique de mesure est difficile, voire impossible. Pour certains effets par exemple, comme la nécessité de promouvoir des mesures d'accompagnement additionnelles à la ZCR (effets E_{102} et E_{103}) ou le pourcentage de stations-services ou de garages qui seront amenés à réduire leur activité dans Paris (effets E_{158} et E_{171}), seule l'attribution d'une probabilité - objective ou subjective - est possible et la mesure peut alors être terminée en procédant par ordres de grandeur. A titre d'exemple également, les bénéfices retirés par la Mairie de Paris par l'utilisation de ses bornes de recharge pour véhicules électriques ou par son image de *Paris électrique*, c'est-à-dire de première capitale à avoir un parc de véhicules circulant essentiellement « propre » (effets E_{203} et E_{307}), ou encore l'incitation d'autres territoires nationaux - ou internationaux - à suivre l'exemple parisien suite au succès (le cas échéant) de la ZCR (effets E_{119} et E_{122}) sont tous des effets pour lesquels une technique de mesure est difficilement réalisable. Dans de tels cas, nous pensons que le scénario de projet qui a été construit pour les identifier suffit alors à lui-même pour le décideur, dans le sens où la connaissance des anticipations des différents acteurs concernés est un ensemble d'informations supplémentaires qui peut l'aider à faire son choix.

10.5 Conclusion

Après le Chapitre 9, ce Chapitre a développé une autre application de l'outil CoBAYe pour l'évaluation *ex-ante* d'une politique d'amélioration de la qualité de l'air à Paris. Cependant, contrairement au précédent chapitre, nous n'avons pas choisi de représenter les résultats de l'analyse par des valeurs monétaires, mais plutôt par une analyse de graphes orientés, en montrant que cette méthode peut également apporter des informations pertinentes sur l'interaction entre agents économiques après la potentielle mise en opération d'une Zone à Circulation Restreinte (ZCR) à Paris, dans le but de permettre d'aider à la décision quant à la mise en œuvre de cette politique ainsi que de ses modalités. Pour cela, nous avons procédé en quatre étapes, qui suivent les préconisations de l'application de la méthode CoBAYe, détaillées au Chapitre 7, à savoir :

- (a) La construction d'un scénario de référence, qui reprend la déclinaison de Plan de Déplacements Urbains en Ile-de-France (STIF, 2012) ;
- (b) La construction d'un scénario de projet, qui reprend la communication de la Maire de Paris de février 2015 sur la réduction de la pollution atmosphérique à Paris (Hidalgo, 2015). Ce scénario a alors consisté en :
 - (i) l'établissement d'hypothèses de changement de *structure topo-économique* du territoire parisien ;
 - (ii) l'identification des effets anticipés par chaque acteur concerné par la politique publique au moyen d'une *frise* temporelle, pour mettre en valeur les dynamiques des interactions entre chaque acteur ;
 - (iii) et l'analyse formelle des caractéristiques de chaque effet identifié.
- (c) La représentation sous forme de graphes orientés des résultats a permis de les interpréter en fonction de certains acteurs qui nous paraissaient les plus pertinents à titre d'illustration pour cette politique publique :
 - (i) la Ville de Paris en tant que décisionnaire principal de sa mise en œuvre ;
 - (ii) la société civile en tant que principal bénéficiaire affiché d'une amélioration de la qualité de l'air en ville ;

(iii) et des acteurs privés aux fortunes diverses et qui sont concernés, directement ou indirectement, par la mise en place de la ZCR, dont par exemple le Groupe *Bolloré* et les commerces de Paris en général.

En particulier, la discussion des résultats a porté, d'une part, sur une analyse statique des boucles des graphes orientés, permettant d'exprimer les relations d'interdépendances entre les agents présents en leur sein et, d'autre part, sur une analyse dynamique de l'évolution du rôle de ces acteurs, un par un, au cours des différentes périodes \mathbb{P}_0 à \mathbb{P}_3 construites par les hypothèses.

(d) Enfin, une discussion sur quelques-uns des intérêts possibles de cette représentation graphique formelle clôt le chapitre, en identifiant par exemple certains paramètres du modèle dont la mesure s'avère nécessaire pour obtenir des résultats plus précis, en particulier si les relations entre les acteurs du graphe orienté peuvent être représentées par des valeurs numériques.

Cependant, nous tenons à également exprimer quelques limites de cette application de l'outil CoBAYe, notamment en ce qui concerne les constructions des scénarios de référence et de projet. En effet, dans les deux cas, les hypothèses relèvent uniquement des choix de l'auteur, en fonction des nombreux retours dont nous avons pu avoir connaissance que ce soit au cours d'entrevues ou de réunions avec des praticiens, en France ou à l'étranger. Par conséquent, la construction des scénarios présentée dans ce chapitre ne reflète pas entièrement les avantages d'une construction simultanée par les participants-mêmes du processus de concertation proposé dans l'outil CoBAYe. Nous pensons donc que ce Chapitre ne doit constituer qu'un exemple illustratif de ce que peut donner une évaluation *ex-ante* de la ZCR parisienne potentielle par l'outil CoBAYe et que, pour bénéficier d'une réelle évaluation, un processus de concertation entre acteurs concernés par la ZCR est primordial pour garantir la diversité des points de vue dans la construction du scénario de projet et de son évolution.

Conclusion de la troisième partie

Si on souhaite une approche globale sur un territoire, l'analyse coûts-bénéfices (CBA) traditionnelle, qui prend en compte uniquement les effets directs et indirects, est pertinente à condition d'appliquer la CBA à toutes les politiques concernant le territoire, puis d'agréger ensuite tous ces résultats et d'accepter de ne pas rechercher les effets induits.

L'outil CoBAYe, en revanche, cherche à prendre en considération de manière systémique, scientifique et réaliste les effets directs, indirects et induits de la politique publique qu'on souhaite évaluer souvent *ex-ante* pour aider les décideurs politiques à prendre une décision. Cette méthode proposée aux « *policy makers* » est fondée sur un changement de paradigme en théorie de la décision et la prise en compte des « *opportunity benefits* ».

Le changement de paradigme consiste, pour intégrer l'incertitude radicale qui frappe en particulier toute évaluation *ex-ante*, à endogénéiser la durée sur laquelle peut porter l'évaluation des effets d'une politique, à la décision politique elle-même. En effet, CoBAYe postule que l'évaluation ne peut être réalisée de manière scientifique que si l'univers des possibles est majoritairement probabilisable. C'est grâce à un dialogue entre le décideur politique et les praticiens que la durée satisfaisant à cette condition peut être définie, et non en fonction de considérations exogènes à la décision, toujours partielles et portant sur les caractéristiques techniques et financières de l'objet de la politique publique (durée d'exploitation d'une infrastructure publique par exemple). Ensuite, la prise en compte des « *opportunity benefits* » vise à ne pas occulter les effets induits et leurs synergies temporelles et spatiales avec d'autres politiques publiques et stratégies privées à des échelons territoriaux différents, par exemple, au motif qu'ils ne seraient pas facilement

identifiables et calculables, mais à chercher à les intégrer de manière scientifique et réaliste grâce au choix d'un horizon temporel de manière endogène au processus de décision politique lui-même.

Après les éléments théoriques de la Partie II, le Chapitre 7 présente une façon pratique d'utiliser la méthode CoBAYe à travers un processus de décision politique concertée, qui réunit le décideur (ou le collègue de décideurs), l'analyste et un ensemble d'acteurs économiques concernés par la décision, contribuant à élargir la diversité des points de vue en fonction des différentes rationalités et, par conséquent, réunir plus d'informations de façon structurée pour aider au choix. Ainsi, d'un point de vue opérationnel, le processus CoBAYe se déroule en trois étapes :

1. Dans un premier temps, en construisant les *structures topo-économiques* de référence et de projet grâce à ce processus de concertation.
2. Dans un deuxième temps, en s'intéressant à l'incertitude endogène à tout processus de décision publique, elle consiste à identifier l'horizon temporel au-delà duquel il n'est plus réaliste de poursuivre l'évaluation *ex-ante*.
3. Enfin, dans un dernier temps, l'évaluation de la politique publique peut être menée jusqu'à cet horizon temporel, en intégrant l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées et en utilisant le concept des « *opportunity benefits* ».

Les trois chapitres qui suivent ce « manuel d'utilisation » ont pour but de montrer, à travers des exemples illustratifs et en mettant l'accent sur des méthodes de valorisation des résultats différentes, trois applications de l'outil CoBAYe pour des politiques intersectorielles :

1. Le Chapitre 8 insiste sur la faisabilité pratique de l'outil CoBAYe en montrant comment, au cours d'un atelier de travail sur des scénarios de prospective territoriale organisé par la Ville de Paris en juin 2013, une partie des préconisations de l'outil CoBAYe a pu être utilisée pour obtenir des informations sur les comportements anticipés des différents acteurs concernés par quelques scénarios de mobilité prédéfinis. En particulier, les retours de cet atelier de travail ont permis d'améliorer la « prise en main » de l'outil CoBAYe pour le rendre plus adapté au processus de concertation.
2. Le Chapitre 9 présente une illustration pratique de l'outil CoBAYe sur l'évaluation *ex-ante* de la création d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge pour véhicules électriques à

Paris. Ainsi, après avoir construit les scénarios de référence et de projet, nous présentons une illustration des résultats qu'il est possible d'obtenir si le décideur demande qu'ils soient représentés à l'aide de valeurs monétaires.

3. Le Chapitre 10 développe une autre facette de la valorisation des résultats qui peuvent être obtenus par CoBAYe, en prenant cette fois l'exemple d'une Zone à Circulation Restreinte (ZCR) à Paris. Ainsi, après établissement de la frise temporelle des effets identifiés en conséquence à la mise en opération de la ZCR, nous présentons des analyses possibles des représentations graphiques des *structures topo-économiques* du scénario de projet, en choisissant d'une part, de cibler l'analyse statique sur les relations d'interdépendances entre acteurs à une *période* donnée et, d'autre part, de s'intéresser dans l'analyse dynamique à l'évolution du rôle de certains acteurs spécifiques au cours du temps.

Néanmoins, l'analyse développée dans les derniers chapitres de cette Partie III présente des limites dont il convient de faire part, en particulier en vue d'une utilisation future :

- Le scénario de référence choisi est axé dans les Chapitres 9 et 10 sur la déclinaison parisienne du Plan de Déplacements Urbains en Ile-de-France (PDUIF) puisqu'il a lui-même fait l'objet de scénarios de prospective territoriale dans sa construction par les services techniques de la Région Ile-de-France et des institutions qui y sont liées (dont le STIF et Airparif entre autres...). Nous avons donc pensé pouvoir utiliser ce plan comme scénario de base de notre analyse, sa robustesse ayant déjà été prouvée au travers de l'examen minutieux de divers organismes territoriaux de la région francilienne. En situation de réelle aide à la décision, nous pensons que c'est cependant au couple analyste - décideur(s), et non à l'analyste seul, de choisir le scénario de référence adéquat, sur lequel seront fondées les constructions des *structures topo-économiques* de référence et de projet par la suite. Le(s) décideur(s) peu(ven)t même chercher à mener l'analyse à l'aune de plusieurs scénarios de référence différents (permettant de faire l'hypothèse que la réalité serait comprise entre une *fourchette* de scénarios, ou mettant en jeu des critères différents relatifs à la vision du décideur par exemple), ce qui est même encouragé en particulier si la décision est collective.

- De même, la construction du scénario de projet est le reflet des seules hypothèses de l’auteur de ce manuscrit, après de nombreuses entrevues et réunions avec des praticiens concernés par la décision²³, aussi bien dans le secteur public que privé, en France et à l’étranger. Cependant, nous pensons que les analyses développées aux Chapitres 9 et 10 ne devraient pas constituer en elles seules une évaluation socio-économique *ex-ante* respectivement de la création d’un réseau de bornes de recharge pour véhicules électriques et de la ZCR avec l’outil CoBAYe : en effet, comme le précise la section 7.2, il est important que l’étape d’identification des effets anticipés par les acteurs concernés par la décision reflète leurs points de vue et, surtout, leurs réactions par rapport aux points de vue des autres acteurs. C’est la raison pour laquelle nous pensons qu’une séance de concertation dans laquelle chacun de ces acteurs peut participer au processus de décision peut être bénéfique au(x) décideur(s), avant qu’il(s) fasse(nt) son/leur choix.

Finalement, l’outil CoBAYe demande à être testé par de nombreux couples « décideurs politiques – ensemble d’agents du territoire », en particulier dans une ère de démocratie participative, où chacun souhaite participer à la décision que ce soit à travers les moyens « traditionnels » (conseils de quartier, par exemple) ou plus récents (*via* les réseaux sociaux et les outils numériques portables par exemple). Cependant, s’il est destiné à améliorer le caractère scientifique de l’aide à la décision, l’outil CoBAYe n’a pas vocation à retirer la noblesse de la décision politique qui réside justement dans la capacité des élus à « préparer l’avenir » en dépit de l’incertitude le caractérisant, grâce à une vision stratégique.

23. En toute rigueur, en ce qui concerne le Chapitre 10, les retours des entrevues et des réunions étaient relatifs à la mise en place d’une *Zone d’Actions Prioritaires pour l’Air (ZAPA)* à Paris, et non *stricto sensu* d’une ZCR. Les deux plans traduisant pourtant une certaine ressemblance, nous avons donc procédé à un léger travail de transposition.

Conclusion générale

Un nouvel outil d'aide à la décision pour combler des lacunes de la pratique de la CBA

S'intéresser à la prise de décision publique, c'est souhaiter percer le mystère de l'activité politique et dévoiler les mécanismes de l'action des instances gouvernementales. C'est aussi procéder à l'analyse de la totalité du cycle de politique publique, à partir de la définition du problème jusqu'aux choix sur la finalité et les moyens de la décision et, enfin, sur sa mise en œuvre et son évaluation (Parsons, 1995). Par ailleurs, cette évaluation peut elle-même également aider à la prise de décision, en particulier si elle est réalisée *ex-ante*. C'est ainsi que, pour des politiques systémiques, ayant notamment des conséquences intersectorielles, comme celles concernant l'amélioration de la qualité de l'air, l'évaluation économique *ex-ante* par l'usage de l'analyse coûts-bénéfices (CBA) est souvent pratiquée pour éclairer la prise de décision publique (Pearce, 1998; Sen, 2000b).

Cependant, comme nous l'avons montré aux Chapitres 2 et 3, la pratique de la CBA pour l'analyse de telles politiques est marquée par des limites très rarement surmontées, parmi lesquelles :

- l'absence de prise en compte des interdépendances existantes et engendrées par la mise en œuvre de la décision,
- le manque de dynamisme dans l'analyse, qui ne tient pas compte de la propagation des effets sur plusieurs horizons temporels,
- et, enfin, la définition *a priori* de la durée de l'évaluation, de façon exogène au processus de décision publique, et qui n'envisage donc pas l'incertitude associée aux effets potentiellement engendrés par la mise en application de la politique.

Par conséquent, et afin de proposer une évaluation économique *ex-ante* de la mise en œuvre de la « Zone à Circulation Restreinte » à Paris, nous avons cherché dans cette thèse à intégrer ces trois composantes dans le processus de décision, en particulier pour des politiques intersectorielles et pour lesquelles de nombreux acteurs sont concernés. Ces recherches nous ont alors permis de construire l'outil d'aide à la décision CoBAYe.

Qu'est-ce que CoBAYe ?

CoBAYe (« *Cost-Benefit Analysis under Interdependences and uncertainty* ») est un outil d'aide à la décision destiné aux décideurs publics (ou privés) qui doivent prendre une décision collective au sein d'un territoire donné. L'outil est en particulier utile dans le cas où le cadre spatio-temporel de cette décision est systémique, dynamique, incertain et que le décideur souhaite tenir compte des changements en termes d'acteurs, d'interdépendances et même de valeurs des ressources de ce territoire.

S'inspirant de l'Analyse Coûts-Bénéfices (« *Cost-Benefit Analysis* »), l'outil surmonte certaines de ses limites et propose une méthode d'évaluation *ex-ante*, concomitante ou *ex-post* d'un projet public (ou privé), procurant des informations structurées, hiérarchisées et plus fournies au décideur. CoBAYe l'aide ainsi à faire son choix, relatif respectivement à la mise en place de ce projet, aux aménagements concomitants éventuels, ou à l'extension voire à la reconduction du projet par exemple.

Pour cela, la méthode d'évaluation que nous proposons repose sur quatre procédés :

1. La définition du cadre spatio-temporel permettant d'explicitier les conséquences de cette décision à l'aide d'une représentation graphique du territoire associé, de ses acteurs et de ses interdépendances, appelée « *structure topo-économique* » (STE) ;
2. L'identification des anticipations, comportements et actions potentiels ou effectifs des différents agents économiques de cette STE qui sont concernés par la décision, et de leur propagation à des échelles territoriales et temporelles variées, grâce à une typologie d'*effets* appelés *directs*, *indirects* et *induits*, auxquels s'ajoutent des éventuels « *opportunity benefits* » ;
3. La détermination, pour chaque effet identifié, de l'horizon temporel au-delà duquel son évaluation devient trop imprévisible, ce qui nécessite l'identification des *types d'incertitude* auxquels ces agents économiques (dont le décideur) sont soumis ;
4. Et l'attribution, pour chaque effet identifié et lorsque cela est techniquement possible, d'une valeur monétaire calculée en fonction de cet horizon temporel.

Enfin, pour favoriser l'obtention d'informations diverses et exhaustives, cette méthode d'évaluation doit, idéalement, être conduite *via* un *processus de concertation* entre le décideur et les agents économiques concernés par la décision eux-mêmes. L'outil CoBAYe n'a donc pas vocation à remplacer le rôle du décideur, mais bien à l'aider à prendre sa décision en lui fournissant davantage d'informations par ce processus de révélation des préférences. Ainsi, la prise en considération de ces informations lui permet d'anticiper les conséquences potentielles de ses décisions.

La méthode d'évaluation CoBAYe

La représentation du territoire par sa *structure topo-économique*. D'un point de vue socio-économique, la méthode CoBAYe que nous avons proposée envisage que le territoire sur lequel est mise en œuvre la décision est caractérisé par, d'une part, des relations d'interdépendances entre les agents économiques et institutionnels qui contribuent à le façonner et, d'autre part, les interactions entre ces agents et les ressources de ce territoire, dont la configuration et les caractéristiques leur procurent des opportunités, marchandes ou non-marchandes (Courlet, 2008; Pecqueur, 2008). Afin de modéliser ces interdépendances, la *structure topo-économique* d'un territoire est un système structuré et ordonné dans lequel l'analyse des anticipations, comportements et actions des agents ne peut être exclue des caractéristiques et ressources du territoire qu'ils pratiquent. Elle peut être représentée par un graphe dans lequel :

- les nœuds sont soit des agents économiques, soit des ressources et caractéristiques du territoire ;
- les arcs orientés représentent la relation de dépendance entre les éléments représentés par ces nœuds, et témoignent des interdépendances existantes initialement ou créées par l'intervention des agents ;
- les valeurs de ces arcs, lorsqu'elles existent, sont les valorisations monétaires associées à ces interdépendances.

Les évolutions de la STE, modélisées par des apparitions ou disparitions de nœuds, d'arcs ou des changements de leur orientation, représentent donc les anticipations, comportements ou actions potentiels ou effectifs des agents en réaction à la décision. Dans une approche dynamique de l'évaluation, chacune de ces modifications définit ainsi une *période* qui caractérise l'évolution des relations d'interdépendances entre eux et les ressources du territoire.

Par ailleurs, comme dans le cas d'une CBA, l'évaluation requiert la construction d'au moins deux scénarios prospectifs :

1. Un scénario de référence²⁴, qui prévoit ce qui se passerait sur le territoire si la décision n'avait pas lieu, et qui est modélisé par l'évolution d'une STE de référence.
2. Un scénario de projet²⁵, qui représente les conséquences de la décision sur ce territoire, et qui est modélisé par l'évolution d'une STE de projet.

La prise en compte de l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées. Un *effet* est défini comme une anticipation, un comportement ou une action qu'un agent économique communique en réaction à la décision d'un acteur public (ou privé) ou d'un autre *effet* (Grefte, 1997). Par conséquent, les effets de la décision apparaissent dans le scénario de projet et ne sont pas présents dans le scénario de référence : leur représentation est donc possible en comparant l'évolution des STE de projet et de référence. Ainsi, afin d'appréhender les effets d'interdépendance de la décision, nous avons proposé à travers la méthode CoBAYe d'identifier les effets de la décision envisagés par les acteurs au moyen de la typologie suivante :

- Les *effets directs*, qui sont liés aux objectifs de la décision, à STE inchangée ;
- Les *effets indirects*, qui sont les conséquences des effets directs, à STE inchangée. Ils caractérisent donc les modifications des interdépendances existantes au sein de la STE. Les externalités économiques et les « *wider economic effects* » (Banister et Berechman, 2000) en font donc partie.
- Les *effets induits*, qui découlent également des effets directs, mais qui sont liés à un changement de STE, et qui peuvent donc être identifiés par une modification de la topologie de la STE. Il y a d'une part les *effets induits de type I* qui entraînent un changement de STE et, d'autre part, les *effets induits de type II* qui émergent grâce aux conditions que propose la STE dans une nouvelle période. Dans les deux cas, il s'agit :
 - (a) de politiques publiques qui verront le jour, dans le cadre de mesures d'accompagnement, d'encadrement ou de développement ;

24. La littérature utilise aussi le terme de scénario « au fil de l'eau » ou le vocable anglais « *reference case* » (Boardman *et al.*, 2010). Par ailleurs, les acteurs peuvent également souhaiter la construction de plusieurs scénarios de référence, pour travailler sur des scénarios prospectifs variés.

25. La littérature anglophone emploie le terme « *project case* ». À nouveau, il peut y avoir plusieurs scénarios de projet, modélisés par le même nombre de STE de projet.

- (b) de politiques, actions et activités publiques qui existaient avant la nouvelle configuration, et qui n'auront maintenant plus lieu d'être ;
 - (c) des activités privées rendues possibles grâce à l'application de la décision ;
 - (d) *a contrario*, des activités privées qui seront supprimées, si elles ne sont plus considérées comme « rentables » dans la nouvelle STE.
- Enfin, de manière à envisager les conséquences de la décision dans un cadre spatio-temporel systémique, défini par le scénario de projet, il faut également tenir compte des « *opportunity benefits* », c'est-à-dire :
- (i) les effets dus aux politiques publiques ou stratégies privées découlant de la décision et qui ont été abandonnées et évitées ;
 - (ii) et les synergies entre les politiques publiques et les stratégies privées interdépendantes et intervenant à des horizons temporels et à des échelons territoriaux différents.

Ainsi, contrairement à la CBA, qui cherche les avantages et inconvénients de la mise en œuvre d'un projet par une approche statique (Banister et Berechman, 2000; Eijgenraam *et al.*, 2000), la prise en compte des effets induits et des « *opportunity benefits* » par la méthode CoBAYe propose une évaluation dynamique grâce à l'identification de la propagation des effets d'interdépendance entre des acteurs territoriaux différents et à des *périodes* successives.

L'évaluation s'arrête lorsque les effets deviennent trop imprévisibles. L'identification de la propagation des effets peut être extensive, et d'aucuns pourraient qualifier cette démarche comme étant sans fin. C'est pourquoi, avant de s'interroger sur la valorisation monétaire de ces effets et sur le passage à une autre *période*, il est nécessaire de se demander jusqu'à quel horizon temporel il est pertinent de conduire l'évaluation. En effet, dans CoBAYe, nous faisons l'hypothèse de rationalité procédurale (Simon, 1955) des acteurs concernés par la décision qui, en plus de l'incertitude probabiliste, doivent faire face à différentes sources d'incertitude :

- l'incertitude radicale (Knight, 1921),
- l'incertitude psychologique « propre » à l'individu (Pratt, 1964; Arrow, 1965),
- l'incertitude comportementale (March et Simon, 1958; Williamson, 1990)
- et l'incertitude environnementale (Simon, 1956).

En fonction de la nature et de l'ampleur de ces sources d'incertitude sur l'occurrence et la valeur de chaque effet, nous estimons qu'il est préférable d'arrêter l'évaluation d'un effet lorsque celui-ci devient trop imprévisible plutôt que de la poursuivre au risque d'avoir des résultats peu fiables²⁶. Or, l'occurrence et l'importance de ces sources d'incertitude elles-mêmes sont propres à la rationalité des acteurs du processus CoBAYe et aux effets identifiés et, pour cela, la proposition *ex-ante* d'une grille générique destinée à orienter le décideur sur la durée d'évaluation adéquate de chaque effet est malheureusement illusoire. A travers l'outil CoBAYe, nous proposons plutôt que la durée d'évaluation soit déterminée de manière endogène au processus de décision par la concertation des acteurs concernés eux-mêmes, contrairement à l'analyse coûts-bénéfices.

La valorisation monétaire des effets identifiés. Cette dernière étape de la méthode d'évaluation CoBAYe est optionnelle, les « aspirations » du décideur ayant pu être satisfaites par la seule identification de la propagation des *effets* de la décision. Cependant, dans le cas où un résultat monétaire est souhaité, les techniques de valorisation monétaire proposées par CoBAYe ne diffèrent pas de celles de la CBA : les prix du marché sont utilisés pour les biens et services marchands et des méthodes de valorisation monétaire plus complexes²⁷ s'appliquent pour les biens et services non-marchands²⁸. Une analyse de sensibilité est toutefois requise notamment pour tenir compte de l'incertitude et, contrairement à la CBA, les résultats peuvent être représentés pour chaque acteur concerné.

26. Cette méthode peut être interprétée comme la prise de décision « simple » en trois étapes d'un individu selon Simon (1955) : l'étape de « *search* », la « *stopping rule* » et la décision simple en fonction de l'évolution des aspirations (« *satisficing* ») de l'individu. Dans la méthode d'évaluation CoBAYe, l'étape de « *search* » est l'identification des effets et la « règle d'arrêt » est la détermination de l'horizon temporel au-delà duquel l'imprévisibilité de l'occurrence d'un effet est trop importante pour les acteurs en concertation : elle induit alors l'arrêt de la valorisation monétaire d'un *effet* et du passage à une autre *période*.

27. En économie de l'environnement par exemple, il existe de très nombreuses méthodes, chacune ayant ses propres limites (Dorfman et Rothkopf, 1996), les plus connues étant l'analyse contingente utilisant les consentements à payer et recevoir (Hanemann, 1994; Bateman *et al.*, 2002), la méthode des prix hédoniques (Ridker et Henning, 1967) ou la valeur d'existence (Krutilla, 1967).

28. L'attribution d'une valeur monétaire aux effets identifiés étant une étape optionnelle dans la méthode CoBAYe, celle-ci n'apporte pas plus d'éléments au débat déjà riche quant à la pertinence de la valorisation monétaire et de ses techniques, telles que l'aggrégation interpersonnelle, les consentements à payer et à recevoir ou encore la valeur adéquate du taux d'actualisation (Kahneman et Tversky, 1979; Stiglitz, 1983; Sen, 2000b; Arrow, 2001).

Le processus d'aide à la décision CoBAYe

Dans le cas d'une décision collective faisant intervenir une diversité d'acteurs du territoire aux contraintes différentes et quelquefois contradictoires, et de surcroît lorsque cette décision doit être prise dans un temps limité, nous estimons que la réalisation de CoBAYe nécessite un processus de décision concertée entre :

- un décideur au moins, aidé de ses services techniques ou de ses conseillers,
- une partie au moins des agents économiques concernés par la décision, volontaires ou invités, privés ou publics, académiques ou praticiens, avec des intérêts différents²⁹,
- au moins un *évaluateur* économiste, habitué à utiliser l'outil CoBAYe et capable de l'expliquer pour que ces acteurs se l'approprient.

Le déroulement du processus d'aide à la décision que nous concevons dans la mise en œuvre de CoBAYe s'inspire des conférences de consensus (Joss et Durant, 1995) et des ateliers de construction de scénarios (Ringland, 2002) : pendant une demi-journée dans une salle de réunion, les acteurs réunis sont soumis au processus suivant :

1. L'*évaluateur* présente et forme les acteurs à la méthode CoBAYe, décrit son processus d'aide à la décision, puis présente le scénario de référence et sa STE.
2. Les acteurs sont amenés à établir un (ou des) scénario(s) de projet : ils construisent alors l'évolution de la STE de projet et les changements de *périodes* associées en identifiant les *effets* que pourrait entraîner l'application de la décision. Cette étape se déroule d'abord de façon personnelle par écrit, puis chaque acteur est invité à se prononcer sur ses anticipations en réaction au projet, engendrant ainsi d'autres *effets* de la part des autres acteurs. La propagation de ces *effets* est notée et visible par tous.
3. Au cours de chaque *période*, et pour chaque effet identifié, l'ensemble des acteurs propose une probabilité de son occurrence et de son ampleur. L'interaction et la confrontation de leurs points de vue et l'aversion au risque du décideur déterminent l'horizon temporel au-delà duquel l'évaluation de cet *effet* n'est plus poursuivie.

29. Le nombre de participants nécessaires dépend de l'ampleur des interdépendances de la décision : le décideur doit alors choisir ce nombre au regard par exemple de la diversité des points de vue souhaitée, tout en admettant qu'un nombre trop important peut ralentir la construction du scénario de projet.

4. Les étapes 2 et 3 sont répétées pour chaque *période* du scénario de projet, caractérisée par les modifications de sa STE vis-à-vis de celle du scénario de référence.
5. Enfin, une fois le processus terminé, toutes ces informations sont recueillies par l'*évaluateur*, qui les analyse et fournit au décideur un relevé structuré des conséquences de son choix, tenant compte :
 - (a) des modifications de la STE anticipées par tous les acteurs,
 - (b) de la propagation des effets d'interdépendance,
 - (c) des horizons temporels d'évaluation qui leur sont associés
 - (d) et, si besoin, d'une valorisation monétaire de ces effets, présentée pour chaque acteur.

Portée et limites de l'outil d'aide à la décision CoBAYe

L'outil CoBAYe, que nous avons construit dans ce mémoire, a pour objectif d'éclairer la prise de décision publique. En particulier, nous pensons qu'il est adapté à l'évaluation des politiques systémiques, comme celles de mobilité et d'amélioration de la qualité de l'air, par exemple à travers la mise en place d'une « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) à Paris. Cependant, nous tenons dans ces paragraphes conclusifs, d'une part, à préciser la portée de cet outil de manière plus générale et, d'autre part, à exposer quelques-unes de ses limites actuelles, en fonction des trois axes suivants :

- (i) Les contingences techniques nécessaires pour parfaire son application ;
- (ii) La variété des secteurs d'application de cet outil ;
- (iii) Et finalement l'inscription de CoBAYe dans le vaste champ des outils d'aide à la décision.

Des améliorations techniques pour améliorer la pertinence des résultats obtenus par CoBAYe

Les Chapitres 8, 9 et 10 sont des illustrations des résultats auxquels peut aboutir l'outil CoBAYe. Nous avons choisi dans la Partie III de la thèse de présenter au lecteur des applications de l'outil CoBAYe, en particulier sur des politiques d'amélioration de la qualité de l'air. Ainsi, les éléments du Chapitre 7, qui peut être lu comme un manuel d'utilisation de l'outil CoBAYe, ont été utiles pour :

- la réalisation d'un test de l'outil en temps réel lors d'un atelier de travail sur la mobilité durable dans les locaux de la Ville de Paris (Chapitre 8) ;
- la création de deux simulations de l'outil CoBAYe sur deux différentes politiques d'amélioration de la qualité de l'air à Paris : premièrement la création d'un réseau infrastructurel de bornes de recharge pour véhicules électriques en voirie (Chapitre 9) et, deuxièmement, la mise en œuvre d'une « Zone à Circulation Restreinte » dans la capitale (Chapitre 10).

L'examen de ces deux simulations permettent de mettre en évidence des régularités dans l'évaluation des politiques d'amélioration de la qualité de l'air à Paris. En effet, dans les deux cas, l'analyse du rôle du décideur (la Ville de Paris) permet de mettre en évidence un rôle moteur initial qui se prolonge dans l'accompagnement de la mise en œuvre de la politique une fois qu'elle a atteint ses premiers objectifs. L'intervention de certains acteurs privés est également remarquée, notamment celle des entreprises d'électromobilité et des entreprises de livraison dans un premier temps : elles contribuent à donner un essor à la politique, que ce soit par l'utilisation des bornes de recharge ou par le renouvellement de leur flotte de véhicules. On peut alors observer des mécanismes d'interdépendances entre un acteur public et de nombreux acteurs privés qui peut déboucher, en fonction du scénario de projet envisagé, sur le développement de stratégies privées, voire même jusqu'à la création d'un écosystème d'électromobilité (Moore, 1996; Bainée, 2013). De nouvelles fonctions d'offre et de demande peuvent alors être mises en évidence, au regard des nouveaux marchés créés, ce qui peut permettre au décideur d'anticiper de futurs choix d'action publique.

Toutefois, contrairement au test de l'outil qui a fait intervenir des acteurs d'horizons différents réunis ensemble au cours d'un processus de concertation, les deux simulations n'ont pas pu bénéficier de la même démarche participative et, par conséquent, ne doivent être perçues que comme des exemples illustratifs des résultats auxquels peut aboutir l'outil CoBAYe pour l'évaluation de ces deux politiques. En effet, les applications développées dans ces Chapitres représentent certes la mise en œuvre de la méthode CoBAYe, mais sans processus de concertation. Ainsi, les hypothèses de construction des STE représentant les scénarios de référence et de projet relèvent uniquement des choix de l'auteur, en fonction des nombreux retours qui ont pu être obtenus que ce soit au cours d'entrevues ou de réunions avec des praticiens, en France ou à

l'étranger. Par conséquent, la construction des scénarios présentée dans ces Chapitres ne reflète pas entièrement les avantages d'une construction simultanée par les participants au processus de concertation. En toute rigueur, ces études ne peuvent donc pas, en tant que telles, représenter des évaluations *ex-ante* des politiques d'amélioration de la qualité de l'air à Paris précédemment citées, qui soient représentatives des points de vue des acteurs concernés par ces décisions. Pour cela, nous pensons que l'intégration de ces acteurs dans le processus de décision, au moyen d'une séance de concertation, comme préconisé au Chapitre 7, est essentielle.

Quels acteurs pour la démarche participative ? Ce processus de décision concerté pose alors le problème du choix des acteurs concernés par la décision. Les participants au processus de concertation sont-ils volontaires ? ou bien sont-ils invités par le décideur, commanditaire de l'évaluation ? et, le cas échéant, comment savoir qui inviter pour participer au processus de décision ? La réponse que nous avons apportée au Chapitre 7 suppose que le décideur possède un avis *a priori* sur certains des effets de sa décision et sur les acteurs qui en bénéficieraient ou qui en subiraient les conséquences : ainsi, la présence de ces acteurs, accompagnés éventuellement de volontaires, est nécessaire. Toutefois, d'autres situations sont possibles, en fonction des différents cas étudiés et même des différents décideurs concernés. Dans la perspective d'une démarche participative et citoyenne, comme lors du budget participatif de l'année 2015 à la Ville de Paris³⁰, on pourrait même imaginer la mise en place de plateformes numériques dédiées, permettant à chaque citoyen de participer à la décision *via* une application smartphone par exemple : la nature et le nombre de participants ne seraient alors pas limités à des contraintes matérielles (salle, temps de parole) et la prise de décision pourrait bénéficier d'un éventail d'apports plus fourni.

Une représentation permettant d'éclairer la prise de décision. En représentant la structure topo-économique du territoire par un graphe orienté, l'analyste peut visuellement mettre en évidence les acteurs concernés par la politique et leurs relations d'interdépendance. Ainsi, en représentant chaque acteur par un nœud, il peut alors chercher le degré entrant et le

30. Le budget participatif 2015 consiste à permettre aux Parisiens d'influer la politique municipale, en leur donnant la possibilité de faire connaître leurs préférences concernant l'utilisation d'une partie (5%) du budget d'investissement de la municipalité. Ainsi, les citoyens peuvent, sur la base du volontariat, d'une part, formuler des propositions relevant de l'investissement, et, d'autre part, voter pour les propositions émises qu'ils estiment prioritaires. La Mairie de Paris souhaite pérenniser ce processus de décision en la réitérant chaque année sur la durée du mandat 2014-2020 (Mairie de Paris, 2015).

degré sortant de chaque nœud, et ce pour chaque représentation de la STE donnée. On peut alors en déduire plusieurs intérêts :

- (a) *Une analyse statique de la STE à un horizon temporel \mathbb{P}_i .* En prenant une « photographie » de la STE à un horizon temporel \mathbb{P}_i donné, il est possible de calculer les degrés entrant et sortant pour chaque nœud. Ceux-ci indiquent à quel point l'acteur représenté par le nœud est moteur ou récepteur respectivement des interactions entre les différents agents économiques du territoire représentés. En d'autres termes, il est possible de savoir qui bénéficie ou qui, au contraire, pâtit de la mise en place de la politique publique. L'identification des acteurs les plus « sensibles » n'est pas négligeable dans un outil d'aide à la décision collective, et nous pensons que le décideur peut être amené à s'intéresser aux populations qui seraient les plus réticentes à sa décision, en particulier si l'équité est un de ses critères de choix, ou même dans le cas où il n'est pas intéressé par le bien-être collectif mais qu'il souhaite limiter des éventuels mouvements de mécontentement.
- (b) *Une analyse dynamique de l'évolution d'un acteur sur la durée de l'évaluation.* Par ailleurs, en s'intéressant uniquement à un acteur A_j dans la propagation des effets (des périodes \mathbb{P}_i à \mathbb{P}_{i+1} puis à $\mathbb{P}_{i+k, k>1}$), et en utilisant la même technique que précédemment, l'analyste (ou le décideur) est en mesure de savoir quelle est l'évolution de l'acteur A_j au cours de la durée d'évaluation. Est-il initialement moteur, puis uniquement récepteur, à la manière d'un acteur public keynésien ? Est-il plutôt de plus en plus récepteur, agissant en pur « consommateur » de la politique publique ? Son évolution est-elle moins discernable ? Dans le premier exemple cité, et en particulier si l'acteur A_j est l'acteur public dont le représentant est le décideur lui-même, il serait évidemment intéressé à savoir comment devrait évoluer son action si elle tenait compte des anticipations sur les autres acteurs, ce qui lui permettrait par exemple d'anticiper de futures politiques de soutien à mettre en œuvre pour garantir l'efficacité de l'action publique initiale. Dans le deuxième cas, par exemple, l'acteur public peut être tenté de demander à l'acteur A_j de participer au financement de la politique publique puisque celui-ci est un « consommateur » (ou bénéficiaire) net. Des exemples de ces interprétations ont notamment été présentés plus en détail au Chapitre 9.
- (c) *Une comparaison de plusieurs politiques qui répondent au même objectif.* Si le décideur a par exemple un choix à faire entre deux politiques publiques dont les objectifs sont similaires, le

même raisonnement que précédemment peut l'aider à prendre sa décision. En effet, en se concentrant sur ses propres actions (l'acteur public est A_j), le décideur peut entreprendre un raisonnement d'analyse dynamique de centralité et chercher à savoir laquelle des deux politiques nécessite une plus grande intervention de sa part. Autrement dit, les deux options de choix peuvent-elles être discriminées en fonction de l'ampleur du rôle moteur initial du décideur ? ou de la nécessité de faire un suivi permanent par la mise en place de politiques de soutien ou de développement ? ou encore de l'ampleur des bénéfices reçus en période \mathbb{P}_{i+k} ? En fonction des critères propres au décideur, la représentation graphique de la STE peut ainsi également l'aider à faire son choix.

(d) *Une étude plus fine de la topologie du graphe de la STE considérée.* Enfin, dans le cas où il est possible :

- d'une part, d'attribuer une valeur monétaire à chaque effet identifié (*i.e.* la valeur d'un arc) ou, plus rigoureusement, de faire en sorte que les valeurs de tous les arcs soient exprimées dans la même unité (qu'elle soit monétaire ou non),

- et d'autre part, de garantir que les relations entre acteurs sont linéaires,

alors une analyse topologique des graphes représentant les STE est possible, et les résultats auxquels on peut s'attendre seraient plus approfondis (Lantner et Lebert, 2013). Même si les pré-requis mentionnés sont extrêmement rares, il n'est pas exclu qu'une analyse de dominance et d'interdépendances puisse être réalisée pour quelques décisions.

Le passage du qualitatif au quantitatif ne va pas de soi. La construction des STE de référence et de projet (Chapitre 6) et le tableau d'identification des effets de la décision (Chapitre 4) permettent de révéler les préférences et les comportements des acteurs participant au processus de décision. Ces effets identifiés sont alors souvent annoncés de façon qualitative, et une collecte ainsi qu'une analyse de données sont alors nécessaires pour avoir des informations plus précises sur l'ampleur de l'effet annoncé. Le décideur peut alors être confronté à deux problèmes :

1. Plusieurs moyens existent pour attribuer une valeur quantitative aux effets identifiés, mais ils ont tous des limites. En effet, que ce soit dans le cas de la réalisation d'enquêtes, d'entrevues ou d'analyses comparatives par exemple, les résultats obtenus peuvent souffrir d'une inertie ou d'un retard trop importants, d'échantillons représentatifs trop réduits, de

subjectivité dans les réponses ou encore de difficultés de transposition d'un territoire à un autre par exemple. De nouvelles techniques de collecte de données, prenant appui sur l'essor récent de l'*open data* ou le *big data*, utilisées dans les secteurs de la mobilité ou de la santé par exemple, peuvent certes aider à pallier certaines limites, mais il reste que l'étude du comportement humain dans les sciences sociales comporte de façon intrinsèque des incertitudes, difficilement surmontables.

2. Aboutir à une valeur quantitative est une chose, pouvoir y attribuer une valeur monétaire en est une autre. Les Chapitres 2 et 3 ont montré que l'analyse coûts-bénéfices a toujours des difficultés à pouvoir attribuer une valeur monétaire aux biens et services non-marchands qu'elle souhaite évaluer, malgré une littérature conséquente sur la question (Stiglitz, 1983; Lave, 1996; Sen, 2000b; Arrow, 2001). La valorisation monétaire n'étant qu'une étape optionnelle de la méthode CoBAYe, nous n'avons donc pas cherché à aller plus loin dans la recherche d'autres méthodes adaptées. Toutefois, si le décideur souhaite un résultat de CoBAYe sous la forme d'un « *Net Social Benefit* » - par exemple pour effectuer une comparaison avec les résultats que peut fournir une CBA - ou s'il souhaite pouvoir utiliser une analyse topologique des graphes représentant les STE de projet et de référence - en supposant que l'hypothèse de linéarité des effets est vérifiée - alors des efforts supplémentaires doivent être réalisés pour l'obtention de valeurs monétaires pertinentes.

La variété des secteurs d'application de l'outil CoBAYe

Des champs d'application qui dépassent l'amélioration de la qualité de l'air. Les trois derniers chapitres présentés dans cette thèse constituent un test en temps réel de l'outil CoBAYe (Chapitre 8) et deux simulations sur des politiques de mobilité en faveur de l'amélioration de la qualité de l'air (Chapitres 9 et 10). Comme mentionné en introduction générale, le choix de ces champs d'application était motivé pour deux raisons :

- D'une part, l'utilisation de l'outil CoBAYe est plus adapté que d'autres outils d'aide à la décision, comme la CBA par exemple, dans le cas où l'évaluation porte sur une politique systémique, inscrite dans un territoire creuset d'interdépendances existantes et potentielles. Etant donné qu'une variation de l'action publique sur l'amélioration de la qualité de l'air contribue à modifier la *structure topo-économique* du territoire, le choix de

ce champ d'application remplit parfaitement les conditions d'une politique systémique, et permet ainsi de fournir des illustrations pertinentes des résultats auxquels peut aboutir une application de l'outil CoBAYe.

- D'autre part, l'intérêt initial était de développer un outil pour évaluer la politique de « Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air » (ZAPA), aujourd'hui remplacée par la ZCR.

Nous avons donc choisi, pour ces raisons, de nous appuyer sur des applications de politiques d'amélioration de la qualité de l'air pour illustrer des exemples d'utilisation de CoBAYe. Toutefois, cet outil peut être appliqué à des politiques publiques de bien d'autres secteurs comme l'environnement de manière plus générale (réduction du changement climatique, de la pollution des sols ou du bruit), l'énergie (transition énergétique, réduction de la consommation), la mobilité (logistique urbaine, électromobilité, interconnexions et intermodalité, nouveaux comportements), la santé (réforme des retraites, du service public de santé), le logement (choix fonciers, prix de l'accession ou de la location), le numérique (effets transversaux de l'accès à internet, nouveaux moyens et réseaux sociaux de communication, ouverture des données publiques) ou encore l'éducation (réforme des rythmes scolaires) par exemple. CoBAYe ne constitue évidemment pas l'unique outil pour l'évaluation de ces politiques, mais nous pensons que sa capacité à prendre en compte, de façon participative, les différents effets d'une politique systémique en situation d'incertitude le rend adapté à de telles évaluations.

Un outil d'aide à la décision *ex-ante* public et privé. Dans sa formulation actuelle, l'outil CoBAYe est bien adapté à une évaluation économique *ex-ante* d'une décision, même si une évaluation concomitante peut également produire de bons résultats ; le changement à opérer dans ce cas, par rapport à l'évaluation *ex-ante*, étant la construction des STE de référence et de projet non pas en tant que scénarios mais en tant que représentations de la réalité. Par ailleurs, pour les raisons évoquées en introduction générale, nous avons choisi d'illustrer la construction de CoBAYe par des exemples d'évaluation de politiques publiques, mais cet outil ne se limite pas à l'évaluation de l'action publique et peut également être utile dans le secteur privé. En effet, si un décideur (ou un collège de décideurs au sein d'un conseil d'administration par exemple) peut réunir un ensemble d'acteurs (au sein de l'entreprise en question ou même des acteurs extérieurs) concernés par la décision qu'il envisage d'étudier avant de faire son choix, alors le raisonnement développé dans la construction de l'outil CoBAYe pourrait également s'y appliquer.

CoBAYe est un parmi de nombreux outils d'aide à la décision

Une construction à partir de l'évaluation des politiques publiques. La présentation qui a été développée dans ce mémoire pour la construction de l'outil CoBAYe a été fondée sur la volonté de créer un outil capable d'appréhender un maximum d'effets découlant de la mise en œuvre d'une politique publique intersectorielle, dans un registre incertain, et en particulier la mise en place d'une politique d'amélioration de la qualité de l'air à Paris, telle que la ZCR. Dans cette perspective, CoBAYe contribue à une des ambitions de l'évaluation des politiques publiques, c'est-à-dire éclairer la prise de décision. Cependant, l'évaluation des politiques publiques est une discipline qui ne peut pas être restreinte à la seule aide à la décision. Bien plus large, elle peut remplir des objectifs différents, parmi lesquels :

- *Piloter les politiques et améliorer la qualité des interventions publiques.* En effet, il peut se produire un décalage entre la programmation d'une décision et la réalité de l'exécution. L'évaluation peut alors chercher à identifier ces éventuels décalages, à les expliquer et à formuler des recommandations pour pallier les déficits de mise en œuvre ou les lacunes dans la conception de la politique (Jacob, 2010).
- *Améliorer le débat public.* La production de connaissances sur le fonctionnement d'un gouvernement et sur les effets produits par son intervention est un objectif important du travail de l'évaluateur. L'utilisation de ces connaissances peut d'ailleurs se concevoir en termes politiques. En effet, les résultats d'une évaluation peuvent alimenter les débats parlementaires ou être employés par des groupes d'intérêts qui peuvent y trouver des arguments qui légitiment leurs points de vue. Plus généralement, l'objectif poursuivi peut être de promouvoir l'établissement d'un espace public et démocratique de discussion, dans lequel les résultats de l'action politique sont librement débattus (Hanberger, 2006).

CoBAYe, en tant qu'outil d'aide à la décision, contribue ainsi à un des objectifs de l'évaluation des politiques publiques, et reste en particulier adapté pour traiter de politiques systémiques, mais cet outil ne saurait être utilisé pour répondre à toutes les autres exigences de l'évaluation de l'action publique.

Un outil d'aide à la décision constructif. Comme nous l'avons exposé au Chapitre 1, la construction de CoBAYe suit une approche constructive de l'aide à la décision, c'est-à-dire

qu'il est caractérisé par un processus d'apprentissage concerté entre le décideur et les acteurs concernés par la décision eux-mêmes, en vue d'obtenir - idéalement - d'une part une vision la plus systémique possible des effets de la décision et, d'autre part, un consensus sur la durée d'évaluation de ces effets ainsi identifiés. Ce n'est en revanche pas la seule approche possible de l'aide à la décision, et des outils descriptifs, normatifs ou prescriptifs existent également (Tsoukias, 2006). L'analyse coûts-bénéfices, par exemple, remplit plutôt un rôle normatif en postulant le comportement rationnel des agents économiques (Zerbe Jr. et Bellas, 2006) alors que les modèles de l'économie expérimentale (Tversky *et al.*, 1982; Poulton, 1994), par exemple, adoptent plutôt une posture descriptive et cherchent à définir des stratégies de décision en observant le comportement de vrais décideurs. Enfin, en tant que discipline, l'aide à la décision elle-même ne doit pas être uniquement perçue comme une des ambitions de l'évaluation des politiques publiques, ni même comme un des objectifs d'une autre évaluation économique, comme nous l'avons montré de manière extensive au Chapitre 1. Par conséquent, notre contribution à travers la construction de l'outil d'aide à la décision CoBAYe doit être analysée comme une méthode répondant à une lacune spécifique (l'appréhension de façon participative des effets d'une décision systémique en présence d'interdépendances et dans un registre incertain) et qui s'inscrit dans deux sphères bien plus importantes et déjà bien fournies : l'évaluation des politiques publiques et l'aide à la décision.

Une démarche participative repoussant les limites de la rationalité procédurale de chaque agent

Dans sa construction (Partie II) et dans son utilisation (Chapitre 7), l'outil CoBAYe est caractérisé par une démarche participative forte, qui est au cœur-même de la méthode et du processus proposés. La prise de décision est alors envisagée comme une concertation avec les acteurs concernés, dans une approche proche de celle de Simon (1955), l'utilisation de l'outil CoBAYe permettant de repousser les limites de la rationalité procédurale de chaque agent.

La prise de décision participative est envisagée de la façon suivante : les décideurs réels ont besoin, initialement, de chercher des informations. Cette recherche (l'étape de « *search* » à laquelle fait référence Simon (1956)) ne peut cependant pas avoir lieu indéfiniment car elle

est soumise à des contraintes de temps, d'argent, d'attention et d'autres ressources rares. Ces décisions doivent donc être prises à la fois dans un temps et un champ de connaissances et de ressources limités, mais aussi dans un monde qui est incertain et changeant. Ainsi, comme dans les modèles de rationalité procédurale (Gigerenzer et Selten, 2002), trois types de processus peuvent être mis en évidence dans l'outil d'aide à la décision CoBAYe, *a fortiori* dans le cas d'une décision publique, collective et qui fait intervenir une diversité d'acteurs du territoire aux contraintes différentes et quelquefois contradictoires et, de surcroît, lorsque cette décision doit être prise dans un temps limité :

1. Une règle de recherche simple par l'identification des effets de l'action publique.

Le processus de recherche d'informations est modélisé par une procédure étape-par-étape, au cours de laquelle l'agent acquiert une information, ou procède à un ajustement de son comportement, et ce processus est alors répété jusqu'à ce que l'agent décide de l'arrêter. En effet, au cours du processus de concertation, le collège d'acteurs participant à la prise de décision obtient des informations de toutes les parties prenantes sur leurs anticipations et leurs comportements au moyen de l'utilisation concertée du tableau d'identification des effets (Chapitre 4). Ainsi, en procédant étape par étape, chacun peut alors se positionner et annoncer les comportements qu'il envisage dans la configuration du scénario de projet. Cette configuration est elle-même susceptible de changer si les anticipations et comportements des acteurs économiques modifient la structure topo-économique du territoire considéré (Chapitre 6). Les acteurs sont alors amenés à identifier leurs anticipations possibles et leurs réactions dans cette nouvelle configuration.

2. Une règle d'arrêt simple est déterminée lorsque l'horizon temporel d'évaluation n'est plus adéquat.

L'étape de recherche d'informations arrive à son terme par des règles d'arrêt simples, telles que le fait de choisir la première option qui satisfait le niveau d'aspiration de l'agent économique. Cette règle d'arrêt peut évoluer en fonction de la longueur de la recherche ou d'une information d'une autre nature, comme le spécifie Selten (1998) dans sa théorie de l'adaptation des aspirations. Nous pensons que chaque effet identifié peut être caractérisé par un horizon temporel propre à la rationalité de l'acteur qui l'anticipe et à l'incertitude qui l'entoure (Chapitre 5). Après concertation entre les acteurs

parties prenantes de la décision et lorsque cet horizon temporel, appelé t^* , est identifié, il n'est plus nécessaire de chercher à évaluer l'effet pour une durée supérieure à t^* .

- 3. Une règle de choix simple propre au décideur.** Une fois la recherche terminée, et un certain nombre d'informations acquis, une règle de décision simple est appliquée, telle que le choix d'une option qui est préférée par l'argument le plus important. L'outil d'aide à la décision CoBAYe propose ainsi de fournir des éléments d'information au décideur, mais pas de norme quant à la « meilleure » façon de décider : le choix est du ressort du décideur, en fonction de ses critères.

De nouvelles perspectives de recherche à l'aune de modèles principal/multi-agents ?

Contrairement à l'analyse coûts-bénéfices, l'outil d'aide à la décision CoBAYe construit au cours de cette thèse est donc adapté à des contextes territoriaux dynamiques et complexes, et pour lesquels le décideur souhaite intégrer les comportements de plusieurs agents aux rationalités et stratégies différentes. L'aide à la décision consiste alors en l'application de la méthode d'évaluation CoBAYe par les acteurs concernés par cette décision, au moyen d'un processus de concertation et au cours duquel l'interaction et la confrontation de leurs anticipations et points de vue fournissent des informations structurées et hiérarchisées au décideur sur les conséquences potentielles de ses choix.

Dans cette thèse, nous avons donc envisagé l'outil CoBAYe comme un moyen de procurer davantage d'informations au décideur, en réduisant l'asymétrie d'information à son bénéfice. L'approche adoptée suppose un processus participatif et concerté au cours duquel chaque agent fait part de ses anticipations sur ses comportements et actions envisagés au sein de la période de la STE de projet. Cependant, il se peut que, dans certains cas, les relations entre le décideur et les agents soient opportunistes ou conflictuelles. En effet, la prise de décision publique peut induire des enjeux privés de la part des agents présents dans le processus de décision et, par conséquent, des phénomènes de coalitions (Breton, 1995) ou de corruption (Tirole, 1986) peuvent apparaître. Dans cette configuration, l'outil CoBAYe peut alors être analysé au regard de la théorie de l'agence :

1. D'une part, en s'inspirant du schéma d'analyse principal/agent et avec une visée d'analyse des politiques publiques, il peut permettre de capturer les traits fondamentaux d'une relation de délégation ou d'une relation hiérarchique d'échange entre, d'une part, une personne ou un groupe de personnes investies d'une autorité, comme un collègue de décideurs (le *principal*) et, d'autre part, les individus ou groupes d'individus qui font partie du processus de décision (les *agents*). En effet, dans certains cas, le principal n'est jamais en mesure de scruter systématiquement l'ensemble des actions de l'agent. L'existence d'actions cachées, c'est-à-dire d'actions qui échappent à l'appréhension du décideur, crée le risque de comportements opportunistes, contraires aux intérêts de ce décideur, en situation de conflits d'intérêt (Sappington, 1991; Laffont, 2001).
2. D'autre part, on pourrait également percevoir CoBAYe comme un moyen de résoudre des problèmes d'agence, dans le sens où CoBAYe participe à la remontée d'informations pertinentes pour la prise de décision du principal (un peu à la manière dont Rotemberg et Saloner (1995) envisagent la confrontation horizontale, *i.e.* entre agents).

Ces considérations liées à la théorie de l'agence ouvrent de nouvelles perspectives de recherche relatives à la manière dont le décideur organise concrètement CoBAYe afin d'en tirer le maximum d'informations utiles pour éclairer sa prise de décision.

Enfin, l'utilisation de l'outil CoBAYe pose la question de la gouvernance, et peut trouver une analyse également en sociologie des organisations et des réseaux de politiques publiques. En effet, l'analyse de la méthode CoBAYe peut mettre l'accent, à la manière de Rhodes (1997), sur les formes horizontales d'interaction entre les acteurs, les interdépendances, la régularité et les règles d'interaction et d'échange, l'autonomie de secteurs et de réseaux à l'égard du gouvernement, la dimension temporelle, les processus de coordination des acteurs politiques et sociaux et également les contraintes associées à la décision (Le Galès, 2010). Sous cette forme, la gouvernance n'est pas seulement une articulation entre les réseaux, ou une question de coordination d'acteurs multiples au moindre coût (Salamon, 2002). Elle soulève également des questions de choix collectifs, de valeurs, de débats contradictoires, d'affrontement entre des intérêts divers, d'intérêt général et, par conséquent, de démocratie.

Annexes

DISTRIBUTION OF OUTLAYS (INPUT) OF CLASSES LISTED AT TOP OF TABLE	Class Number	DISTRIBUTION OF OUTPUT OF CLASSES LISTED AT LEFT OF TABLE										Net Output
		Agriculture and Foods	Minerals Industry	Metals and Their Products	Fuel and Power	Textiles and Leather	Transportation (Steam Railroads)	Foreign Trade (Exports)	Industries n.e.s.	Undistributed	Households (Consumption)	
Class Number		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Agriculture and Foods	1	(-0.9377)	(0)	(0)	(0)	(0.1361)	(0)	(0.5150)	(0.0296)	(0.0354)	(0.2730)	19158
		0	0	0	0	1420	0	4063	391	1364	11920	
Minerals Industry	2	(0.0023)	(-0.8595)	(0.0724)	(0.0022)	(0.0001)	(0.0025)	(0.0271)	(0.0558)	(0.0159)	(0.0045)	2991
		48	1157	1157	16	1	15	214	734	612	194	
Metals and Their Products	3	(0.0381)	(0.0241)	(-0.9199)	(0.0830)	(0.0162)	(0.2581)	(0.1809)	(0.0813)	(0.1690)	(0.0539)	14707
		778	84	0	614	169	1529	1427	1073	6513	2520	
Fuel and Power	4	(0.0065)	(0.1284)	(0.0240)	(-0.8317)	(0.0121)	(0.0871)	(0.0638)	(0.0173)	(0.0326)	(0.0585)	6153
		133	447	398	0	126	516	503	228	1257	2545	
Textiles and Leather	5	(0.0060)	(0)	(0.0113)	(0)	(-0.9294)	(0)	(0.0973)	(0.0068)	(0.0400)	(0.1607)	9695
		122	0	181	0	0	0	768	90	1541	6993	
Transportation (Steam Railroads)	6	(0.0460)	(0.0940)	(0.0164)	(0.1208)	(0)	(-0.9488)	(0.0179)	(0.0262)	(0.0380)	(0.0286)	5620
		940	327	262	894	0	0	141	346	1464	1246	
Foreign Trade (Imports)	7	(0.0558)	(0.0428)	(0.0056)	(0.0035)	(0.1519)	(0.0002)	(-0.5324)	(0.0293)	(0.0067)	(0.0132)	4205
		1140	149	89	26	1584	1	387	387	257	572	
Industries n. e. s.	8	(0.0395)	(0.0092)	(0.0108)	(0.0157)	(0.0149)	(0.0212)	(0.0918)	(-0.9515)	(0.1620)	(0.0963)	12564
		807	32	174	110	155	125	724	0	6240	4191	
Undistributed	9	(0.1752)	(0.3583)	(0.4100)	(0.3777)	(0.2958)	(0.1172)	(0.0063)	(0.3724)	(-0.9409)	(0.3064)	36257
		3580	1247	6554	2794	3085	694	50	4918	0	13335	
Households (Services)	10	(0.6306)	(0.3431)	(0.4286)	(0.3971)	(0.3730)	(0.5138)	(0)	(0.3815)	(0.5005)	(-1.2742)	55447
		12883	1194	7172	2938	3891	3043	0	5038	19288	0	
Net Outlays (Input)		20431	3480	15987	7398	10431	5923	7890	13205	38536	43516	

FIGURE A.2 – Relations quantitatives entrées-sorties dans le système économiques des Etats-Unis en 1919, avec une désagrégation en seulement 10 classes - extrait de (Leontief, 1937, p.123)

Annexe B

La théorie des jeux - définitions des termes

Avant de décrire brièvement les concepts et théorèmes les plus importants de la théorie des jeux, il semble nécessaire de préciser les définitions du vocable couramment utilisé dans ce domaine. Ces définitions sont largement issues de Edwards (1954).

Un jeu La notion de jeu qui est ici évoquée prend en compte à la fois la notion courante du jeu de dés ou du jeu de cartes, mais le terme de *jeu* est également bien plus général. Par exemple, un scientifique dans son laboratoire joue à un *jeu* contre la Nature. Des agents syndicaux et patronaux lors d'une négociation de conditions de travail jouent également à un *jeu*. Ainsi, toute situation dans laquelle de l'argent (ou un équivalent de la même valeur) peut être gagné à la suite de son propre choix ou de sa propre stratégie est considéré comme un *jeu*.

Une stratégie On entendra par *stratégie* un ensemble de règles que l'on se fixe pour jouer à un *jeu*. en effet, pour chaque action possible de la part d'un joueur A, son adversaire B a un ensemble possible de réponses. Pour chacune de celles-ci, A aura un ensemble possible de réactions, et ainsi de suite. Une *stratégie* est donc une liste dans laquelle il est spécifié quelle est l'action à réaliser en fonction de tous les ensembles d'actions précédents au cours du *jeu* dont il est question.

Une imputation On associe aux stratégies des *imputations*. Une *imputation* est un ensemble de paiements que l'on fait à l'issue d'un *jeu*, à destination de chaque joueur. En général, différentes *imputations* sont associées à différents ensembles de *stratégies*, mais pour tout ensemble de *stratégies*, il peut y avoir plusieurs *imputations* possibles (notamment dans les jeux qui impliquent des coalitions). On dit qu'une *imputation* X domine une *imputation* Y quand un ou plusieurs joueurs dont les gains dans X sont supérieurs aux gains dans Y peuvent, en jouant ensemble (s'il y a plus d'un joueur) favoriser l'occurrence de X. Cette relation de domination n'est pas transitive.

Une solution On définit comme *solution* un ensemble d'*imputations* dans lequel aucune imputation ne domine une autre, mais tel que toute imputation à l'extérieur de la *solution* est dominée par au moins une *imputation* qui se trouve à l'intérieur de la *solution*.

Von Neumann et Morgenstern (1944) affirment que le but de la théorie des jeux est de trouver une solution. Mais pour un jeu donné, il peut y avoir plusieurs solutions. En effet, un des inconvénients de la théorie des jeux est que, bien souvent, de nombreuses solutions sont données comme résultat d'un jeu.

Par ailleurs, les définitions plus haut font clairement apparaître que le seul facteur déterminant du comportement dans les jeux, selon cette théorie, est la quantité d'argent qui peut être gagnée ou perdue, ou les quantités espérées dans le cas des jeux de hasard. Par conséquent, l'utilité retirée du plaisir de jouer, par exemple, est hors sujet.

Le principe du minimax des pertes Les notions de domination et de solution impliquent une règle fondamentale dans la théorie de la décision - une règle radicalement différente avec celle de la maximisation de l'utilité, ou de l'utilité espérée, utilisée jusqu'alors. Cette règle, appelée brièvement « minimax des pertes » consiste à minimiser la perte maximale, autrement dit la règle est d'identifier, pour chaque stratégie possible que l'on pourrait adopter, quel est le pire résultat, et ensuite de choisir la stratégie qui aurait le moins d'effets négatifs si effectivement l'issue du jeu est bien la pire. Une autre manière de présenter cette règle est de l'appeler le principe du gain minimum (ou « maximin des pertes ») : cette règle est en effet intuitivement cohérente avec la précédente si on considère un jeu de deux joueurs dans lequel le but de l'adversaire est de

maximiser ses gains, donc de minimiser celui du premier joueur. Dans les deux cas, cela revient mathématiquement à chercher le point selle de la fonction d'optimum des gains ¹.

Un jeu à deux joueurs. Il peut y avoir des jeux dont le nombre de joueurs est très important, mais le jeu le plus simple - et aussi celui dont les recherches ont été les plus nombreuses et les plus abouties - est le *jeu à deux joueurs*. De manière générale, il y a deux types d'issues à un jeu. La première et la plus commune est le jeu dans lequel un joueur gagne et son adversaire perd ou, plus généralement, le jeu pour lequel la somme de tous les paiements faits à la fin est égale à zéro. On l'appelle d'ailleurs un *jeu à somme nulle*. Dans le cas des *jeux à somme non-nulle*, il peut y avoir des complexités analytiques. Elles peuvent être réduites si on fait l'hypothèse de l'existence d'un troisième joueur, fictif, qui gagne ou perd de telle sorte que la somme des paiements des trois parties est également nulle. Évidemment, on ne peut pas supposer qu'un tel joueur ait une stratégie et il n'est pas capable, bien sûr, d'interagir avec d'autres joueurs.

Les jeux de plus de deux joueurs Les jeux de plus de deux joueurs introduisent un nouvel élément : la possibilité que deux ou plus de joueurs coopèrent pour battre leurs adversaires. Un tel accord de coopération est appelé *coalition* et il implique bien souvent des *paiements secondaires* entre les membres de la coalition. La méthode d'analyse dans les jeux à trois ou plus de joueurs est d'envisager toutes les coalitions possibles et de résoudre le jeu quelle que soit la coalition sur les principes d'un jeu à deux joueurs. Cette méthode est assez satisfaisante dans le cas de trois joueurs, mais l'est de moins en moins à mesure que le nombre de joueurs devient important.

Nous terminons ici le bref aperçu des conclusions de Von Neumann et Morgenstern (1944), étant donné qu'il est assez compliqué de faire ressortir l'essentiel en moins d'une page. Il est à retenir toutefois que la théorie des jeux n'est pas un modèle qui représente comment les individus jouent effectivement à un jeu, et elle ne va sans doute pas être utile pour exprimer de façon normative comment il faut jouer à un tel jeu. En revanche, le point-clef de la théorie des jeux est le principe de choisir la stratégie qui minimise le maximum de la perte financière espérée ; et la théorie des jeux définit également l'existence d'une solution d'un jeu entendu comme un ensemble d'*imputations* qui satisfont ce principe pour tous les joueurs.

1. Il s'agira de trouver le minimum de la courbe qui représente la fonction maximum des pertes ou bien de trouver le maximum de la courbe qui représente la fonction minimum des gains.

Hypothèses faites Von Neumann et Morgenstern affirment que l'hypothèse « est numérique [...], substituable et transférable sans restriction entre les différents joueurs » (Von Neumann et Morgenstern, 1944, p. 604). Il n'y a pas de consensus en théorie des jeux au sujet du sens de cette hypothèse. Une des interprétations probables est que les auteurs font l'hypothèse que l'utilité est d'une part proportionnelle à la valeur de l'argent qui se trouve dans le jeu, et d'autre part qu'elle peut être soumise à une comparaison interpersonnelle. L'hypothèse de linéarité (ou de proportionnalité) est nécessaire pour les jeux de deux personnes, celle de comparaison interpersonnelle plutôt pour les jeux à n personnes. Il y a cependant eu des essais pour développer des solutions aux jeux qui levaient ces hypothèses (Shapley et Shubik, 1953).

		Joueur 2	
		C	D
Joueur 1	A	7, 3	7, 4
	B	3, 4	10, 5

FIGURE B.1 – **Représentation sous forme normale d'un jeu à deux joueurs, chacun disposant de deux stratégies possibles, respectivement A , B et C , D .**

Représentations

La situation décrite dans la figure B.1 met en scène deux joueurs anonymes qui jouent en même temps et ne peuvent pas communiquer entre eux. Le but du jeu est d'obtenir le plus de points possibles. Le joueur 1 doit choisir entre deux stratégies : A et B , et le joueur 2 a également le choix entre deux stratégies C et D (qui peuvent être similaires ou différentes à A et B dans le cas général). Les données du jeu, connues des deux joueurs, sont récapitulées dans la figure. Il s'agit bien d'un *jeu* puisque la situation concerne deux individus en interaction stratégique, le choix de l'un influençant la décision de l'autre. Puisque les deux joueurs sont interrogés séparément, sans qu'ils puissent communiquer entre eux et s'engager à prendre certaines décisions, on parle de jeu « non-coopératif ». Une branche de la théorie des jeux, initiée par Von Neumann et Morgenstern (1944) est qualifiée de « coopérative » car elle s'intéresse au contraire aux cas où les joueurs cherchent à s'entendre préalablement et à former des coalitions avant de s'engager dans le jeu. Dans le cas d'un tel jeu *statique*, chaque joueur prend une décision unique et sa stratégie coïncide

donc avec cette action unique. Dans le cas des jeux *dynamiques*, qui ne seront pas traités ici, le concept de stratégie ne se ramène plus forcément à une seule action.

Dans les quatre cases du tableau de la figure B.1, le premier chiffre est le nombre de points gagnés par le joueur 1 et le second chiffre est le nombre de points gagnés par le joueur 2. Ainsi, par exemple, la case en haut à droite du tableau signifie que si le joueur 1 joue A et que le joueur 2 joue D, alors leurs gains sont de 7 et 4 respectivement, d'où la notation (7,4) utilisée. Ce résultat peut se déterminer en termes de points, mais également en euros ou en variations d'utilité. D'une manière générale, le résultat du jeu pour un joueur est appelé « *payoff* », en empruntant le terme anglais. Le tableau représentant les différentes configurations du jeu est donc parfois qualifié de *matrice des payoffs* (Eber, 2013). Enfin, il existe une autre représentation sous forme *extensive*, c'est-à-dire sous une forme arborescente (Kuhn, 1953), qui est souvent utilisée lorsque les deux joueurs ne jouent pas simultanément, car elle permet alors de visualiser l'ordre des coups. Cette forme ne sera cependant pas utilisée dans cette section ni dans les applications développées en section 4.5.

Annexe C

« Plan anti-pollution »

Cette section reprend en intégralité la communication au Conseil de Paris des 9 et 10 février 2015 relative à la lutte contre la pollution atmosphérique liée au trafic routier (Hidalgo, 2015).

La lutte contre la pollution de l'air est un enjeu de santé publique majeur. A Paris, où cohabitent 2 millions de résidents et plusieurs millions de visiteurs et où ont lieu 28 millions de déplacements quotidiens, elle revêt même un caractère d'urgence.

Ce combat est l'un des principaux qui ont conduit les élus du Grand Paris à engager la construction de la Métropole, parce que la pollution de l'air ne s'arrête pas aux limites administratives mais concerne tous nos territoires et tous nos habitants.

Chaque jour en effet des millions de Franciliens et de Parisiens sont exposés à des niveaux élevés de pollution, notamment aux particules, déclarées « cancérogènes certains » par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en juin 2012. Selon une estimation publiée dans un rapport de la Commission européenne dans le cadre du programme « Air pur pour l'Europe », ces particules causent la mort « prématurée » de plus de 42 000 personnes dans notre pays et la réduction de notre espérance de vie de 6 à 9 mois.

En novembre 2014, une étude basée sur les mesures d'Airparif, cofinancée par la Ville, nous a pour la première fois alertés sur la gravité de la pollution aux particules ultrafines à

Paris, comparant la situation lors d'un pic de pollution à du tabagisme passif. Une autre étude de l'Institut de veille sanitaire publiée le 6 janvier 2015 confirme les effets à court terme des particules PM_{10} sur la mortalité, même à des concentrations, en moyenne annuelle, conformes à la réglementation européenne ($40 \mu g/m^3$). L'effet induit de la pollution sur la santé, la qualité et l'espérance de vie représenterait en Europe un coût d'environ 31,5 Mds pour la collectivité publique.

A Paris et en Ile-de-France, les sources de pollution atmosphérique proviennent essentiellement du trafic routier à l'origine des concentrations de dioxyde d'azote et de particules en suspension. Le parc automobile français, l'un des plus diésélisés au monde en raison des incitations fiscales, est l'un des principaux émetteurs de particules fines $PM_{2,5}$ et PM_{10} , qui se concentrent surtout dans le cœur de l'agglomération parisienne.

La nécessité d'agir avec force et détermination ne se discute donc plus, elle s'impose à nous tous. C'est le choix que nous avons fait au lendemain des élections de mars.

La politique menée par la Ville depuis 2001, notamment à travers le développement de l'offre de transport en commun et de réduction de l'emprise de la voiture, a permis d'améliorer globalement la situation. C'est ainsi que selon l'étude d'Airparif sur la qualité de l'air en Ile-de-France de juillet 2013, le niveau des émissions d'un grand nombre de polluants a baissé entre 2002 et 2012, de 35 à 40 % pour les particules fines et de 30 % pour les oxydes d'azote. Mais cette amélioration imputable à la modernisation du parc et à la réduction de la circulation automobile est en partie contrebalancée par la diésélisation du parc.

Les Franciliens sont encore trop souvent exposés à un air de mauvaise qualité, comme l'a montré par exemple l'épisode ayant conduit à la mise en place de la circulation alternée le 17 mars 2014. La France est d'ailleurs aujourd'hui sous la menace d'une sanction de l'Union européenne pour non-respect des règles de qualité de l'air dans les grandes villes. La Cour européenne de justice, dans un jugement en date du 19 novembre 2014, vient de préciser aux Etats « une obligation de résultats » en matière de lutte contre la pollution au dioxyde d'azote.

Il est donc indispensable, tout en poursuivant la politique de rééquilibrage de l'espace public en faveur des modes de déplacement alternatifs à la voiture, d'organiser de manière encore plus volontariste la circulation, au bénéfice des véhicules les moins polluants, afin de réduire durablement la pollution de fond et la pollution de proximité.

Les mesures proposées dans le cadre de ce Plan anti-pollution traduisent notre volonté déjà exprimée par un vœu adopté par le Conseil de Paris en mai 2014.

Elles s'inspirent des préconisations issues de la conférence citoyenne organisée par la Ville de Paris avec l'institut de sondage IFOP à l'automne dernier : vingt citoyens recrutés pour être le plus représentatifs possible de la population parisienne et de la petite couronne ont été formés à la problématique de la lutte contre la pollution. Ils ont ensuite pu débattre avec des experts qu'ils avaient souhaité entendre sur le sujet, et ont émis un avis écrit à la question qui leur était posée : « Comment lutter contre la pollution de l'air à Paris ? ».

Leur avis permet à la Ville de mieux orienter les mesures qu'elle souhaite mettre en œuvre. Les citoyens ont souhaité souligner le faible manque d'information sur la pollution quotidienne de l'air, et « l'individualisme, voire l'égoïsme » des comportements, « en premier lieu centrés sur la préservation du confort personnel ».

Une réponse concrète va donc pouvoir être apportée prochainement à un grand nombre de ces mesures. Ainsi, la diminution de la vitesse dans plusieurs quartiers de Paris (pour aller jusqu'à la généralisation du 30 km/h hors grands axes circulés), la création d'emplacements sécurisés pour garer les vélos, le développement de vélos à assistance électrique dans le parc Vélib', le passage des véhicules de l'administration parisienne vers des véhicules propres... seront progressivement déployés dans Paris. Nous souhaitons également mettre en place une journée sans voiture dès le 20 septembre 2015, à l'occasion de la semaine européenne de la mobilité.

En janvier, le Plan que nous lançons aujourd'hui a été présenté à l'ensemble des maires d'arrondissement et des groupes politiques de la majorité et de l'opposition. De même, une conférence métropolitaine a été organisée par la Maire de Paris pour recueillir les avis des

communautés d'agglomération, des communes de la Métropole ainsi que des conseils généraux concernés, pour envisager une action commune et efficace à l'échelle de l'agglomération parisienne.

1. Favoriser les mobilités alternatives à la voiture individuelle.

Le premier volet d'actions contre la pollution porte sur le développement d'offres alternatives à l'utilisation régulière d'un véhicule individuel polluant. L'exécutif parisien développe des modes alternatifs depuis 2001. Ces efforts doivent se poursuivre et vont même s'intensifier, conformément au Programme d'investissement de la mandature présenté en décembre dernier.

(a) *Développer les transports publics ou en libre-partage*

Paris propose d'ores déjà un grand panel d'offres alternatives : réseaux de transports collectifs très denses, offre de véhicules électriques en autopartage Autolib', sociétés d'autopartage ayant une capacité de développement importante, sociétés de location facilement accessibles, alternative du vélo et de Vélib' pour les courtes distances...

La Ville de Paris continue à faciliter les déplacements non polluants pour tous les usagers dans la capitale, et développera un certain nombre de projets durant cette mandature :

- en lançant de nouveaux projets de transport en commun structurants : extension du tramway T3 au-delà de la porte d'Asnières et à Nation, projets de nouvelles liaisons à haut niveau de service entre les gares parisiennes et le long de la Seine,
- en participant aux projets de prolongements des lignes de métro et de lignes de transports en commun en site propre reliant Paris et la banlieue,
- en améliorant les transports du quotidien, grâce à des renforts d'offre et de qualité de service du réseau de lignes de bus parisiennes, à l'étude de l'augmentation de l'amplitude nocturne du métro et à la création d'un pass unique Mobilités,
- en poursuivant le développement du service Vélib', (réflexion sur un nouveau Vélib' électrique et un Vélib' davantage métropolitain),

- en poursuivant le développement de l’offre Autolib’, avec plus de 2000 véhicules en libre-service pour faire face à la demande croissante,
- en complétant cette offre par des places de stationnement réservées aux véhicules d’autopartage en boucle,
- en développant le réseau de bornes de recharge normale et accélérée, avec des tarifs attractifs (gratuité de la recharge normale la nuit), à destination des particuliers comme des professionnels (pour les bornes à recharge accélérée notamment),
- en développant le réseau d’avitaillement en stations de gaz naturel, notamment par un partenariat avec GrDF pour développer les véhicules au gaz naturel dans le parc de la Ville et l’intégration de stations de gaz dans les stations-services parisiennes.

(b) *Rééquilibrer l’espace public en faveur des mobilités douces*

Le rééquilibrage de l’espace public pour donner plus de place aux mobilités douces se poursuivra :

- en faveur des mobilités actives, vélo et marche, avec le triplement des investissements pour le vélo et doublement du nombre de km de voies cyclables par rapport à la précédente mandature, et l’élaboration d’un plan en faveur des piétons,
- grâce au programme d’aménagements visant à établir des continuités cyclables et piétonnes confortables entre Paris et les communes voisines,
- en développant des espaces de garages sécurisés pour les vélos, bien dimensionnés, et positionnés en priorité sur l’ensemble des pôles de transport parisiens majeurs,
- en étendant les zones de rencontre (20 km/h) et en engageant la généralisation des zones 30 (hors grands axes circulés), permettant aux mobilités douces de trouver toute leur place dans l’espace public,
- en menant une politique dynamique et innovante sur la logistique urbaine, favorisant le report modal, mobilisant du foncier dans Paris pour permettre d’organiser la distribution finale au plus près des clients, favorisant l’usage des véhicules les plus propres.

(c) *Réagir vite et fort en cas de pic de pollution*

Des mesures spécifiques sont également prévues pour agir rapidement et efficacement en cas de pic de pollution. La Ville de Paris prévoit, en accompagnement de l'arrêté inter-préfectoral du 25 juillet 2014, la mise en place graduée et systématique de mesures d'urgence visant à encourager le report modal vers les transports collectifs, Autolib', Vélib', et le covoiturage :

- 1er jour de dépassement du seuil d'information : stationnement résidentiel gratuit ;
- après deux jours de dépassement du seuil d'information, ou au 1er jour de dépassement du seuil d'alerte : mesures de gratuité d'Autolib' et Vélib' en lien avec le syndicat Autolib' Métropole ;
- au premier jour de dépassement du seuil d'alerte et en cas de risque de dépassement le jour suivant : demande à l'Etat de mettre en place la circulation alternée, en attendant des mesures permettant l'identification des véhicules les plus polluants, et la gratuité des transports collectifs en lien avec le STIF et la Région.

2. Accompagner les usagers vers des mobilités non polluantes

La Ville de Paris a réaffirmé auprès de l'Etat son souhait d'une politique nationale cohérente globale sur le diesel comprenant un rééquilibrage de la fiscalité et des mesures d'incitation au renouvellement du parc, assorties de mesures d'accompagnement social et financier. La décision du gouvernement prise en octobre 2014 d'augmenter la taxe sur le diesel au 1er janvier et au 1er avril 2015 ainsi que la future loi de transition énergétique en préparation devraient permettre d'avancer en ce sens.

Pour sa part, la Ville de Paris, encourage sans attendre différentes formes de mobilités alternatives à l'usage d'un véhicule individuel polluant, avec la poursuite et de développement de mesures incitant soit à l'abandon d'un véhicule personnel au profit de mobilités alternatives, soit au remplacement des véhicules polluants par des véhicules propres.

(a) *Reconduire les mesures d'accompagnement mises en place par la Ville*

- gratuité du stationnement rotatif pour les véhicules électriques, GNV et projet d'extension de cette gratuité aux véhicules hybrides rechargeables : stationnement gratuit dans Paris, et possibilité pour les véhicules électriques et hybrides de se recharger gratuitement la nuit sur les nouvelles places dotées de bornes de recharge installées courant 2015 ;
- subvention à hauteur de 4 000 euros pour l'achat d'un taxi hybride rechargeable ou 6000 euros pour l'achat d'un taxi électrique ;
- subvention à l'achat d'un vélo à assistance électrique ou d'un cyclomoteur électrique très adapté à la mobilité parisienne et francilienne : 33 % du montant du deux-roues sont pris en charge par la Ville de Paris, dans la limite d'un montant de 400 euros ;
- développement de l'offre d'utilitaires électriques en libre-service, Utilib', à destination des professionnels parisiens.

(b) *Promouvoir de nouvelles mesures incitatives*

Les nouvelles mesures d'accompagnement vers des mobilités plus douces et moins polluantes sont :

- L'offre découverte Autolib' pour tous les Parisiens de moins de 25 ans qui ont obtenu leur permis de conduire depuis moins d'un an, et pourront bénéficier de la prise en charge de 50 % du coût de leur abonnement annuel à Autolib' + un crédit de 50 euros de trajets pré-payés offerts ;
- Pour les Parisiens renonçant durablement à leur véhicule particulier concerné par les mesures de restriction de circulation, le remboursement du montant de leur Pass Navigo, de leur abonnement Vélib' pour une durée d'un an, ou bien le remboursement jusqu'à 400 euros d'achat vélo et d'accessoires : dès l'été 2015, les propriétaires de véhicules 1* et 2* pourraient bénéficier de cette mesure ; ils pourront également bénéficier de l'offre découverte Autolib' ;
- L'accompagnement des copropriétés pour s'équiper d'abris vélos sécurisés : prise en charge de 50 % du montant total dans la limite de 2 000 euros ;

- L’accompagnement des copropriétés pour installer des points de recharge pour véhicules électriques dans les parties communes : prise en charge de 50 % du montant total, plafonné à 500 euros par point de recharge dans la limite de 4 points ;
- L’aide à l’acquisition d’un véhicule électrique ou au gaz pour les professionnels mobiles : aide financière au remplacement d’un véhicule thermique par un véhicule propre (électrique ou gaz) de 15 % du prix d’achat HT (hors options), d’un montant maximal de 9 000 euros modulé selon le type de véhicule (de l’utilitaire léger jusqu’au poids-lourd). Cette offre est réservée aux très petites entreprises, pour cibler notamment les artisans et commerçants (en-deçà d’un seuil de salariés et de chiffre d’affaires ou de tout autre critère représentatif en cours de concertation avec les professionnels), elle est proposée aux professionnels parisiens ainsi qu’aux professionnels de la petite couronne (départements 92, 93 et 94) qui viennent travailler à Paris. Elle interviendra en complément des mesures prises par l’Etat (bonus de 6300 euros pour l’achat d’un véhicule propre dans la limite de 27 % du coût d’acquisition et réflexion sur un bonus majoré de 10000 euros sous certaines conditions) ;
- La création d’un crédit à taux préférentiel pour l’acquisition, par un professionnel, d’un véhicule propre ;
- La mise en place d’un « centre de mobilité » permettant de répondre à toutes les questions des Parisiens et visiteurs sur l’offre de mobilité parisienne et permettant de les aider à trouver des solutions de mobilité adaptées.

L’ensemble de ces mesures, regroupées sous le label « Paris Atmosph’Air », sera financée grâce à un effort budgétaire exceptionnel de 5 millions d’euros dès 2015.

(c) *Poursuivre le renouvellement du parc routier*

En complément de ces mesures, la Ville de Paris poursuivra son objectif de renouvellement du parc de la Ville vers un parc plus propre : elle a ainsi achevé fin 2014 de supprimer tous les véhicules diesel de son parc de berlines et de citadines grâce à un

investissement de 5 millions d'euros. Elle fera disparaître de son parc automobile tout utilitaire diesel dans le parc municipal en 2015 (suppression des 300 fourgonnettes diesel encore en service). Par ailleurs, elle a réaffirmé auprès du STIF sa volonté d'accélérer le renouvellement du parc de bus de la RATP afin d'aboutir au plus vite à un parc non diesel.

De plus, la Ville de Paris prépare une campagne d'information et de sensibilisation à destination des habitants et des professionnels franciliens sur les méfaits des particules fines pour la santé et sur la nécessité de se déplacer sans polluer.

Enfin, selon l'Observatoire de la qualité de l'air en Ile-de-France, 41 % des particules fines en suspension PM_{10} émises par le trafic routier francilien viennent de l'abrasion des pneus, du revêtement routier et des freins. Selon une évaluation réalisée en Allemagne par l'Institut de génie de l'environnement de l'université technique de Berlin, la seule usure des plaquettes de freins représenterait 20 % de l'ensemble des particules émises par le trafic routier. Cette pollution est encore mal évaluée et peu traitée : la Ville de Paris soutiendra donc toute recherche et toute expérimentation visant à l'étudier et à la combattre.

3. Polluer moins : limiter la circulation des véhicules les plus polluants et favoriser celle des véhicules les plus propres

Des « zones à basses émissions » existent aujourd'hui dans près de 200 villes européennes, et notamment dans certaines de superficie comparable à celle de Paris comme Berlin, Londres, Milan, Stockholm, Amsterdam ou Copenhague, avec des modalités d'application différentes selon les pays.

Le projet de loi de transition énergétique, dans son article 13, prévoit la mise en place de zones à circulation restreinte. Nous nous saisissons de ce nouveau cadre législatif bienvenu afin de faire de Paris une zone à basse émission, qui sera progressivement interdite à tous les véhicules polluants, qu'ils soient essence ou diesel, en commençant par ceux qui émettent le plus de polluants.

Nous souhaitons mettre en œuvre une interdiction de circulation sur tout le territoire parisien hors périphérique et hors bois, pour les véhicules les plus polluants.

L'objectif est de réduire les émissions dans les rues parisiennes, avec un dispositif laissant l'accès possible à toutes les activités urbaines, mais en modifiant les conditions d'accès afin de favoriser les véhicules les moins émetteurs de polluants locaux pour inciter au renouvellement du parc vers des véhicules propres. Il ne s'agit pas d'entraver quiconque mais bien d'encourager et d'accompagner la transition vers les mobilités propres de demain accessibles à tous.

En plus de cette zone à basses émissions de dimension parisienne, d'autres outils sont à la disposition de la Ville : la mise en place de zones à trafic limité et d'axes à ultra basse émissions, et de nouveaux quartiers « Paris Respire ».

(a) *Faire de Paris une zone à basses émissions par des restrictions de circulation applicables aux véhicules les plus polluants*

Nous souhaitons que l'interdiction de circuler pour les véhicules les plus polluants soit effective tous les jours, du lundi au dimanche compris, pour les poids-lourds, cars et bus, et qu'elle soit effective uniquement les jours de semaine ouvrés, du lundi au vendredi, c'est-à-dire dans les périodes de plus forte congestion et de pollution la plus importante, pour les véhicules légers, les véhicules utilitaires légers et les deux-roues motorisés.

L'objectif à terme est de parvenir à une sortie du diesel. Mais une telle mesure ne peut évidemment être prise du jour au lendemain ; un calendrier de mise en œuvre progressive permet ainsi à tous, particuliers comme professionnels, de mieux anticiper les conditions de renouvellement de leur véhicule.

La classification utilisée pour l'identification des véhicules les plus polluants est la nomenclature réglementaire basée sur l'arrêté du 3 mai 2012, classant les véhicules

en fonction de leur niveau réglementaire d'émission de gaz polluants et de particules. Cette classification concerne tous types de véhicules : 2 roues, voitures particulières, camionnettes, poids-lourds, autobus et autocars.

Dès le 1er juillet 2016, nous souhaitons, en appliquant le nouveau dispositif législatif, interdire tous les véhicules de classe 1* (véhicules antérieurs à 1997 pour les véhicules particuliers et les camionnettes). Les voitures particulières, 2 roues motorisés et véhicules utilitaires légers concernés par ces mesures d'interdiction pourront continuer à circuler le week-end, tandis que l'interdiction sera permanente pour les autobus, autocars et poids-lourds concernés.

Nous souhaitons bâtir ce dispositif avec toutes les collectivités de la métropole qui le souhaiteront.

Afin de diminuer au plus vite les émissions polluantes qui touchent les Parisiens, notre volonté est d'expérimenter cette interdiction de circulation dès le 1er juillet 2015 pour les autobus, autocars et poids lourds de classe 1* (véhicules antérieurs au 1er octobre 2001) sur le territoire parisien. Mais la mise en œuvre des zones à circulation restreinte définies par le projet de loi de transition écologique ne pourra pas intervenir avant la parution de l'ensemble des décrets d'application prévus par la loi, donc pas avant 2016. Ainsi, sans attendre que la loi soit opérationnelle, et de façon transitoire en attendant les possibilités qu'elle offrira, la Ville souhaite agir en utilisant un autre outil juridique à sa disposition. Le Code général des Collectivités territoriales permet à la Ville, en lien avec la Préfecture de Police qui partage la compétence de police de circulation, de mettre en œuvre une gestion différenciée de la circulation en fonction des catégories de véhicules, pour des nécessités de protection de l'environnement. Ainsi, nous souhaitons nous fonder sur ce texte pour interdire la circulation des poids lourds, autocars et bus dès le 1er juillet 2015 de 8h à 20h, y compris le week-end, et sommes en discussion avec l'Etat à cette fin.

Entre 2017 et 2020, les véhicules de classes 2*, 3*, puis 4*, seront progressivement interdits. Le dispositif mis en place par la Ville de Paris pourra évoluer en fonction du développement des coopérations à l'échelle métropolitaine pour la mise en place d'actions sur le territoire étendu de la Métropole du Grand Paris.

Les véhicules de classe 1* sont :

- Pour les 2 roues motorisés, les véhicules antérieurs au 31 mai 2000, soit les véhicules Euro 0 ;
- Pour les véhicules particuliers, les véhicules antérieurs au 1er janvier 1997, soit les véhicules Euro 0 et Euro 1 ;
- Pour les véhicules utilitaires légers, les véhicules antérieurs au 1er octobre 1997, soit les Euro 0 et Euro 1 ;
- Pour les poids-lourds, les véhicules antérieurs au 1er octobre 2001, soit les véhicules Euro 0 et Euro 1 et Euro 2.

Des modalités d'application particulières pour les professionnels travaillant à Paris sont en cours de concertation. L'objectif est de prendre en compte leurs contraintes particulières via un calendrier d'application adapté pour laisser aux professionnels suffisamment de temps pour anticiper cette mesure. Des dérogations temporaires ciblées, en particulier pour les véhicules des commerçants travaillant sur les marchés parisiens, seront aussi proposées.

Le contrôle sera pris en charge par les forces de police en charge de la police de circulation et de stationnement. Les contrevenants à la mesure de restriction de circulation pour les véhicules les plus polluants seront punis de l'amende prévue pour la contravention de 2e classe, assortie d'une mesure d'immobilisation du véhicule éventuellement suivie d'une mise en fourrière, conformément aux dispositions des articles L.325-1 à L.325-3 et R.411-19 du Code de la route.

Le Premier Ministre a annoncé lors de la conférence environnementale du 27 novembre 2014 la mise en place prochaine d'un dispositif d'identification des véhicules en

fonction de leur niveau d'émission de polluants. Une vignette de couleur devrait rapidement voir le jour, et faciliterait le contrôle des véhicules. A terme, une automatisation du contrôle est souhaitable pour une meilleure efficacité.

(b) *Zones à trafic limité et voies à ultra basses émissions*

Les restrictions de circulation présentées permettent de réduire l'impact environnemental en incitant au report vers un parc plus propre. Mais elles ne permettent pas de réduire fortement le volume de circulation. Pourtant, pour limiter l'impact environnemental de la circulation dans certains quartiers de Paris où la configuration est particulièrement appropriée, une limitation beaucoup plus importante de la circulation est pertinente, afin que tous, habitants, touristes, visiteurs, puissent profiter du cadre parisien dans un environnement apaisé et non pollué. C'est pourquoi il semble important de pouvoir créer des zones dans lesquelles la circulation automobile serait réduite fortement. Dans ces zones à trafic limité, la circulation sera réduite au strict minimum : celle-ci serait limitée aux riverains, taxis, professionnels, clients des hôtels... Ainsi, ces zones semi-piétonnes permettraient d'offrir aux quartiers concernés une qualité de vie améliorée.

Des études sont encore nécessaires pour analyser l'impact en termes de report de circulation de la mise en place de telles zones. Mais dès 2016, une zone à trafic limité pourra être mise en oeuvre dans certains quartiers, par exemple l'hyper-centre de Paris mais pas seulement.

Enfin, des voies à ultra basse émission pourraient être expérimentées. Il s'agirait d'offrir des avantages en termes de circulation aux véhicules propres tout en diminuant fortement le volume de circulation émetteur de pollution locale sur ces axes circulés. Ainsi, un sens de circulation serait réservé aux véhicules propres : véhicules hybrides rechargeables, électriques et gaz. Quelques axes circulés, particulièrement pollués, et permettant de conserver une file de circulation ouverte à tous, pourraient être concernés. Une telle voie à ultra basse émission pourra être expérimentée dès 2016.

(c) *Zones « Paris Respire »*

Les dispositifs « Paris Respire » et « la rue aux enfants » permettent de fermer à la circulation des voitures et à rendre aux piétons et cyclistes certains quartiers de façon occasionnelle (le dimanche en général). Dès 2015, de nouveaux quartiers « Paris Respire » seront proposés en lien avec la préfecture de police, et les périodes de fermetures de quartiers existants pourront être étendues : le samedi pour certains secteurs, en soirée pour d'autres... La vie de quartier et la promenade seront ainsi facilitées dans un environnement plus agréable. L'opération « la rue aux enfants » viendra compléter ce dispositif.

(d) *Action métropolitaine*

La loi relative à « la modernisation de l'action publique territoriale et l'affirmation des métropoles » (MAPTAM) du 27 janvier 2014 prévoit que la Métropole qui verra le jour en 2016 ait la compétence sur la qualité de l'air.

Ainsi, la Métropole pourra se saisir de cette question, mais elle ne pourra pas agir efficacement sans une mobilisation des maires qui conserveront la compétence en matière de circulation. C'est pourquoi la Ville de Paris a pris l'initiative d'engager une concertation avec l'ensemble des élus de Paris Métropole sur ce sujet.

Le vendredi 9 janvier dernier, une réunion a rassemblé les élus de Paris Métropole autour de cette question de lutte contre la pollution. Elle a conclu à la nécessité de mettre en place un travail commun pour améliorer sensiblement la qualité de l'air dans le Métropole. Un comité d'animation composé de quelques collectivités volontaires va se mettre en place pour organiser le travail avec les collectivités du Grand Paris. L'objectif est de rassembler les collectivités qui le souhaitent pour bâtir un plan de lutte contre la pollution l'air efficace à l'échelle métropolitaine. Ce groupe de travail pourra s'appuyer sur les travaux d'ores et déjà entrepris par Paris. Notre assemblée doit donc montrer l'exemple et engager les actions sans attendre.

Paris s'engage aujourd'hui sur tous les fronts pour relever les immenses défis sanitaires et environnementaux qui se posent à toutes les villes mondes. En s'attaquant à toutes les formes de pollution, en ouvrant de nouvelles perspectives concrètes de transition dans le domaine des transports, notre ville se donne tous les moyens de ses ambitions écologiques. C'est une capitale toujours dynamique mais bénéficiant d'une atmosphère assainie que nous contribuons dès aujourd'hui à construire en alliant réformes, investissements et innovations. L'ensemble des Parisiens, mais également des forces économiques et sociales, seront évidemment associés à ce mouvement dont dépend l'avenir de Paris. En cette année décisive pour le climat, notre ville participe ainsi localement à la transition globale dont le monde a besoin.

Annexe D

Classification des véhicules

« polluants »

dénomination	catégorie	combustible	restrictions de circulation	interdiction des véhicules...			
				1*	2*	3*	4*
Voiture Particulière (VP)	M1 transport de personnes 9 sièges max moins de 5T	essence/GPL/GNV/E85/hybrides essence et hybride sans diesel	mise en service avant le ...	1er janvier 1997			1er janvier 2011
			normes euros interdites	<= Euro 1			<= Euro 4
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2015	>= 18,5 ans			
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2016				
			âge des véhicules interdits au 1er janvier 2018				
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2019				
			mise en service avant le ...	1er janvier 1997	1er janvier 2001	1er janvier 2006	1er janvier 2011
			normes euros interdites	<= Euro 1	<= Euro 2	<= Euro 3	<= Euro 4
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2015	>= 18,5 ans			
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2016		>= 15,5 ans		
âge des véhicules interdits au 1er janvier 2018			>= 12 ans				
âge des véhicules interdits au 1er juillet 2019				>= 8,5 ans			

FIGURE D.1 – Classification des véhicules légers selon leurs émissions de polluants.

Véhicule Utilitaire Léger (VUL)	N1 transport de marchandises moins de 3,5T	essence/GPL/ GNV/E85/ hybrides essence et hybride sans diesel	mise en service avant le ...	1er octobre 1997	Pas de VUL essence classé 2* ou 3*	1er janvier 2011
			normes euros interdites	<= Euro 1		<= Euro 4
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2015	>= 17,75 ans		
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2016			
			âge des véhicules interdits au 1er janvier 2018			
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2019			>= 8,5 ans
			mise en service avant le ...	1er octobre 1997	1er janvier 2001	1er janvier 2011
			normes euros interdites	<= Euro 1	<= Euro 2	<= Euro 4
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2015	>= 17,75 ans		
		diesel et hybride diesel	âge des véhicules interdits au 1er juillet 2016		>= 15,5 ans	
			âge des véhicules interdits au 1er janvier 2018			
			âge des véhicules interdits au 1er juillet 2019			>= 8,5 ans
					>= 12 ans	

FIGURE D.2 – Classification des véhicules utilitaires légers selon leurs émissions de polluants.

Bibliographie

- ACKOFF, R. L. (1962). Some Unsolved Problems in Problem Solving. *Operational Research Quarterly*, 13(1):1–11.
- ADEME (2011). Etat de l'art - Les zones zéro émission (Low Emission Zones) à travers l'Europe : déploiement, retour d'expérience, évaluation d'impact et efficacité du système. Rapport technique, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris.
- ADEME (2013a). Appel à projets AACT-AIR : 10 Lauréats pour améliorer la qualité de l'air grâce à l'action des collectivités.
- ADEME (2013b). Bois énergie et qualité de l'air. Rapport technique, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris.
- ADEME (2013c). Mobilité Durable - Dossier de presse. Rapport technique, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris.
- ADEME (2014a). Air Stable, Air Instable - Conditions naturelles agissant sur la pollution de l'air. Rapport technique, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris.
- ADEME (2014b). Emissions de particules et de NOx par les véhicules routiers. Rapport technique, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris.
- ADEME (2014c). Impacts des Polluants. Rapport technique, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris.
- AEA TECHNOLOGY ENVIRONMENT (2003). The London Low Emission Zone Feasibility Study - A summary of the Phase 2 Report to the London Low Emission Zone Steering group. Rapport technique, London Low Emission Zone Steering group, London, UK.
- AFSSET (2009). Avis relatif à l'impact des technologies de post-traitement sur les émissions de NO2 de véhicules diesel, et aspects sanitaires associés. Rapport technique, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.
- AFSSET (2010). Avis relatif à la proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur pour les particules. Rapport technique, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort.
- AGENZIA MILANESE MOBILITÀ AMBIENTE (2002). Studio per l'introduzione del Road Pricing a Milano. Rapport technique, Comune di Milano, Milan, Italie.

- AIRPARIF (2011). Evaluation des impacts du PDUIF sur la qualité de l'air et les émissions de GES en 2020. Rapport technique, Airparif - Association de Surveillance de la Qualité de l'Air en île-de-France, Paris.
- AIRPARIF (2014). Inventaire régional des émissions en Ile-de-France. Année de référence 2012 - éléments synthétiques. Rapport technique, Airparif - Association de Surveillance de la Qualité de l'Air en Ile-de-France, Paris.
- AKERLOF, G. A. (1970). The Market for "Lemons" : Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *Quarterly Journal of Economics*, 84(3):488–500.
- ALLAIS, M. (1953a). La psychologie de l'homme rationnel devant le risque : la théorie et l'expérience. *Journal de la société française de statistique*, 94:47–73.
- ALLAIS, M. (1953b). Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats et axiomes de l'école américaine. *Econometrica*, 21(4):503–546.
- ALLAIS, M. (1953c). L'extension des théories de l'équilibre économique général et du rendement social au cas du risque. *Econometrica*, 21(2):269–290.
- ALLAIS, M. et HAGEN, O., éditeurs (1979). *Expected Utility Hypotheses and the Allais Paradox*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- ANNEMA, J. A., KOOPMANS, C. et VAN WEE, B. (2007). Evaluating Transport Infrastructure Investments : The Dutch Experience with a Standardized Approach. *Transport Reviews*, 27(2):125–150.
- ANNEMA, J. A. et MOUTER, N. (2013). Improving the problem analysis in cost-benefit analysis for transport projects : an explorative study. In *2013 BIVÉC-GIBET Transport Research Days, 30/31 May, Luxembourg*, pages 1–14, Luxembourg.
- ANSCOMBE, F. J. et AUMANN, R. J. (1963). A Definition of Subjective Probability. *The Annals of Mathematical Statistics*, 34(1):199–205.
- APPÉRÉ, G. (2004). L'évaluation des actifs à usage récréatif : la méthode contingente des coûts de transport. *Revue d'Economie Régionale & Urbaine*, 1:81–106.
- APUR (2012a). *ZAPA - Etude d'impact socio économique - Rapport Final*. Atelier Parisien d'Urbanisme, Paris.
- APUR (2012b). *Zone d'Action pour la Protection de l'Air à Paris - Etat des travaux à juillet 2012*. Atelier Parisien d'Urbanisme, Paris.
- APUR (2013). *Les commerces en réseaux tissent leur toile à Paris*. Atelier Parisien d'Urbanisme, Paris.
- APUR (2014). *Le grand commerce à Paris et en Ile-de-France*. Atelier Parisien d'Urbanisme, Paris.
- ARROW, K. J. (1951). *Social choice and individual values*. John Wiley & Sons, New York.

- ARROW, K. J. (1965). *Aspects of the theory of risk-bearing*. Yrjö Jahnssoin Säätiö, Helsinki, Finlande.
- ARROW, K. J. (2001). *Valuing environmental preferences : theory and practice of the contingent valuation method in the US, EU, and developing countries*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- ARROW, K. J. et DEBREU, G. (1954). Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica*, 22(3):265–290.
- ASHBY, W. (1956). *An Introduction to Cybernetics*. Chapman and Hall, London.
- ATHERLEY, G., CALE, R., DRUMMOND, M. et KOLOZYN, H. (1976). An Approach to the Financial Evaluation of Occupational Health Services. *Occupational Medicine*, 26(1):21–30.
- ATKINSON, R. D. (2007). Framing a national broadband policy. *CommLaw Conspectus*, 16:1–145.
- AUMANN, R. J. et SORIN, S. (1989). Cooperation and bounded recall. *Games and Economic Behavior*, 1(1):5–39.
- AVIS CITOYEN (2014). Conférence de citoyens sur la pollution de l’air. Rapport technique, Institut français d’opinion publique (Ifop), Paris.
- BAINÉE, J. (2013). *Conditions d’émergence et de diffusion de l’automobile électrique. Une analyse en termes de bien-système territorialisé*. Thèse de doctorat en sciences économiques, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- BANA E COSTA, C. A., ENSSLIN, L., CORNÊA, E. C. et VANSNICK, J.-C. (1999). Decision Support Systems in action : Integrated application in a multicriteria decision aid process. *European Journal of Operational Research*, 113(2):315–335.
- BANA E COSTA, C. A., NUNES DA SILVA, F. et VANSNICK, J.-C. (2001). Conflict dissolution in the public sector : A case-study. *European Journal of Operational Research*, 130(2):388–401.
- BANA E COSTA, C. A. et VANSNICK, J.-C. (1994). MACBETH - An Interactive Path Towards the Construction of Cardinal Value Functions. *International Transactions in Operational Research*, 1(4):489–500.
- BANISTER, D. (2003). Critical pragmatism and congestion charging in London. *International Social Science Journal*, 55(176):249–264.
- BANISTER, D. et BERECHMAN, J. (2000). *Transport Investment and Economic Development*. Psychology Press, New York, NY.
- BANISTER, D. et BERECHMAN, Y. (2001). Transport investment and the promotion of economic growth. *Journal of Transport Geography*, 9(3):209–218.
- BANVILLE, C., LANDRY, M., MARTEL, J.-M. et BOULAIRE, C. (1998). A stakeholder approach to MCDA. *Systems Research and Behavioral Science*, 15(1):15–32.
- BARNA, T. (1976). Quesnay’s model of economic development. *European Economic Review*, 8(4):315–338.

- BARTHÉLEMY, J.-P., BISDORFF, R. et COPPIN, G. (2002). Human centered processes and decision support systems. *European Journal of Operational Research*, 136(2):233–252.
- BARZEL, Y. (1987). Knight’s “Moral Hazard” Theory of Organization. *Economic Inquiry*, 25(1):117–120.
- BATEMAN, I. J., WILLIS, K. K. G. et ARROW, K. J. (2002). *Valuing Environmental Preferences : Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the US, EU, and Developing Countries*. Oxford University Press.
- BATESON, G. (1972). *Steps to an Ecology of Mind*. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- BAUMOL, W. J. (1946). Community indifference. *The Review of Economic Studies*, 14(1):44–48.
- BAUMOL, W. J. (1968). On the social rate of discount. *The American Economic Review*, 58(4):788–802.
- BAUMOL, W. J. et OATES, W. E. (1988). *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press, New York.
- BAUMSTARK, L. (2007). La mesure de l’utilité sociale des investissements : l’enjeu du processus de production des valeurs tutélaires. In MAURICE, J. et CROZET, Y., éditeurs : *Les dimensions critiques de calcul économique*, pages 1–25. Economica, Paris.
- BAUMSTARK, L., DERVAUX, B. et TREICH, N. (2013). Eléments pour une révision de la valeur de la vie humaine. Rapport technique, Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective (CGSP), Paris.
- BEATTIE, J., COVEY, J., DOLAN, P., HOPKINS, L., JONES-LEE, M., LOOMES, G., PIDGEON, N., ROBINSON, A. et SPENCER, A. (1998). On the Contingent Valuation of Safety and the Safety of Contingent Valuation : Part 1-Caveat Investigator. *Journal of Risk and Uncertainty*, 17(1):5–26.
- BEGGS, J. (2014). *What is behavioral economics ?* Page internet, About.com, dernier accès en novembre 2014.
- BELL, D. E. (1982). Regret in Decision Making under Uncertainty. *Operations Research*, 30(5):961–981.
- BELTON, V. et STEWART, T. J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis : An Integrated Approach*. Springer Science & Business Media, Dordrecht.
- BÉNABOU, R. et TIROLE, J. (2003). Self-Knowledge and Self-Regulation : An Economic Approach. *The psychology of economic decisions*, 1:137–167.
- BENAYOUN, R., ROY, B. et SUSSMAN, B. (1966). ELECTRE : une méthode pour guider le choix en présence de choix multiples. Rapport technique, Rapport technique. SEMA-METRA International, Direction Scientifique. Note de Travail 49, Paris.
- BENBRAHIM-TALLAA, L., BAAN, R. A., GROSSE, Y., LAUBY-SECRETAN, B., EL GHISSASSI, F., BOUVARD, V., GUHA, N., LOOMIS, D. et STRAIF, K. (2012). Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. *The Lancet Oncology*, 13(7):663–664.

- BERGSON, A. (1938). A reformulation of certain aspects of welfare economics. *The Quarterly Journal of Economics*, 52(7):314–344.
- BERNOULLI, D. (1738). Specimen theoriae novae de mensura sortis. *Comentarii Academiae Scientiarum Imperiales Petropolitanae*, 5:175–192.
- BEUKERS, E., BERTOLINI, L. et TE BRÖMMELSTROET, M. (2012). Why Cost Benefit Analysis is perceived as a problematic tool for assessment of transport plans : A process perspective. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 46(1):68–78.
- BILINGSOY, C. (1994). Quesnay's Tableau économique : analytics and policy implications. *Oxford Economic Papers*, 46:519–533.
- BLACK, D. (1958). *The theory of committees and elections*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- BLACK, D. (1969). On Arrow's impossibility theorem. *Journal of Law and Economics*, 12(2):227–248.
- BLACKETT, P. (1950). Operational Research. *Operational Research Quarterly*, 1(1):3–6.
- BLUM, U., HAYNES, K. E. et KARLSSON, C. (1997). The regional and urban effects of high-speed trains. *The Annals of Regional Science*, 31(1):1–20.
- BOARDMAN, A., GREENBERG, D., VINING, A. R. et WEIMER, D. L. (2010). *Cost-Benefit Analysis*. The Pearson Series in Economics, Upper Saddle River, New Jersey, quatrième édition.
- BOARDMAN, A. E., GREENBERG, D. L., VINING, A. et WEIMER, D. L. (2006). *Cost Benefit Analysis : Concepts and Practice*. Pearson, Upper Saddle River, New Jersey, troisième édition.
- BOÎTEUX, M. (2001). Transports : choix des investissements et coût des nuisances. Rapport technique, Commissariat Général du Plan, Paris.
- BORDA, J.-C. (1781). *Mémoire sur les élections au scrutin*. Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris.
- BOREL, E. (1921). La théorie du jeu et les équations intégrales à noyau symétrique. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 173(58):1304–1308.
- BOREL, E. (1938). *Traité du calcul des probabilités et de ses applications, applications des jeux de hasard*. Gauthier-Villars, Paris, vol. iv édition.
- BÖRJESSON, M., ELIASSON, J., HUGOSSON, M. B. et BRUNDELL-FREIJ, K. (2012a). The Stockholm congestion charges - 5 years on. Effects, acceptability and lessons learnt. *Transport Policy*, 20:1–12.
- BÖRJESSON, M., FOSGERAU, M. et ALGERS, S. (2012b). On the income elasticity of the value of travel time. *Transportation Research A*, 46(2):368–377.
- BOURG, D. et BOY, D. (2005). *Conférences de citoyens, mode d'emploi*. Editions Charles Leopold Mayer, Paris.

- BOUYSSOU, D. (1992). Democracy and efficiency : A note on "Arrow's theorem is not a surprising result". *European Journal of Operational Research*, 58(3):427–430.
- BOUYSSOU, D. (2000). *Evaluation and Decision Models : A Critical Perspective*. Springer Science & Business Media, Dordrecht.
- BOUYSSOU, D., PERNY, P., PIRLOT, M., TSOUKIAS, A. et VINCKE, P. (1993). A manifesto for the new MCDM era. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 2:125–127.
- BOWEN, K. (2004). Sixty years of operational research. *European Journal of Operational Research*, 153:618–623.
- BRATHEN, S. et HERVIK, A. (1997). Strait crossings and economic development : developing economic impact assessment by means of ex post analyses. *Transport Policy*, 4(4):193–200.
- BRETON, A. (1995). Organizational hierarchies and bureaucracies : An integrative essay. *European Journal of Political Economy*, 11(3):411–440.
- BRISTOW, A. et NELLTHORP, J. (2000). Appraisal of transport projects in the European Union. *Transport policy*, 7(1):51–60.
- BRUINSMA, F. et RIETVELD, P. (1993). Urban Agglomerations in European Infrastructure Networks. *Urban Studies*, 30(6):919–934.
- BUCHANAN, J. M. (1980). Rent seeking and profit seeking. In BUCHANAN, J. M., TOLLISON, R. D. et TULLOCK, G., éditeurs : *Toward a theory of the rent-seeking society*, pages 3–15. Texas A & M University Press, quatrième édition.
- BUCHANAN, J. M. (2008). Opportunity Cost. In DURLAUF, S. N. et BLUME, L. E., éditeurs : *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan. The New Palgrave Dictionary of Economics Online, Basingstoke, UK, deuxième édition.
- BURGESS, D. F. et ZERBE JR., R. O. (2011). Appropriate Discounting for Benefit-Cost Analysis. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 2(2):1–20.
- CABANNE, I. (2010). Le point sur les coûts et les avantages des vélos en libre-service. Rapport technique, Commissariat Général au Développement Durable, Paris La Défense.
- CABANTOUS, L., CHANEL, O. et VERGNAUD, J. C. (2009). Transport, health and global warming : Deciding on the optimal policy. *Economie Internationale*, 120(4):11–36.
- CAMERER, C. F. (2003). *Behavioral Game Theory : Experiments in Strategic Interaction*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- CAMERER, C. F. (2007). Neuroeconomics : Using Neuroscience to Make Economic Predictions. *The Economic Journal*, 117(519):C26–C42.
- CAMERER, C. F., JOHNSON, E., RYMON, T. et SEN, S. (1993). Cognition and Framing in Sequential Bargaining for Gains and Losses. In BINMORE, K., KIRMAN, A. et TANI, P., éditeurs : *Frontiers of Game Theory*, pages 27–47. MIT Press, Cambridge, MA.

- CAMERER, C. F., LOEWENSTEIN, G. et PRELEC, D. (2005). Neuroeconomics : How neuroscience can inform economics. *Journal of Economic Literature*, 43(1):9–64.
- CAMPEN, J. T. (1986). *Benefit, Cost, and Beyond : The Political Economy of Benefit-Cost Analysis*. Ballinger, Cambridge, MA.
- CAMPOS, J. et de RUS, G. (2009). Some stylized facts about high-speed rail : A review of HSR experiences around the world. *Transport Policy*, 16(1):19–28.
- CARLSSON, H. et VAN DAMME, E. (1993). Global Games and Equilibrium Selection. *Econometrica*, 61(5):989–1018.
- CARSON, R. T. et FLORES, N. E. (1996). Contingent valuation and revealed preference methodologies : Comparing the estimates for quasi-public goods. *Land economics*, 72(1):343–386.
- CARTELIER, J. (1998). Quesnay, François, and the Tableau économique. In KURZ, H. et SALVATORI, N., éditeurs : *The Elgar Companion to Classical Economics*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham and Northampton, UK.
- CARTER, A. P. (1970). *Structural Change in the American Economy*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- CE DELFT (2008). Handbook on estimation of external costs in the transport sector - Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). Rapport technique, CE DELFT, Delft, Pays-Bas.
- CENTRE FOR ECONOMICS AND BUSINESS RESEARCH LTD (2012). The economic costs of gridlock - An assessment of the direct and indirect economic costs of idling during heavy road traffic congestion to households in the UK, France and Germany. Rapport technique, INRIX, London, UK.
- CERTU (2003). Les politiques de stationnement après la loi SRU. Pourquoi? Comment? Rapport technique, CERTU, Lyon.
- CHARLES, L. (2008). Tableau Economique. In DURLAUF, S. N. et BLUME, L. E., éditeurs : *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan. The New Palgrave Dictionary of Economics Online, Basingstoke, UK, deuxième édition.
- CHARNES, A. et COOPER, W. (1961). *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- CHARNES, A., COOPER, W. et FERGUSON, R. (1955). Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming. *Management Science*, 1(2):138–151.
- CHARNESS, G. (2000). Self-Serving Cheap Talk : A Test Of Aumann’s Conjecture. *Games and Economic Behavior*, 33(2):177–194.
- CHEN, K.-Y. et KRAKOVSKY, M. (2010). *Secrets of the Moneylab : How Behavioral Economics Can Improve Your Business*. Penguin, New York, NY.

- CHEENERY, H. B. (1953). Process and Production Functions from Engineering Data. In LEONTIEF, W. W., éditeur : *Studies in the Structure of the American Economy*, chapitre 8, pages 287–325. Oxford University Press, New York, NY.
- CHEVASSON, G. (2007). *Le calcul économique à l'épreuve des contraintes du secteur des transports routiers*. Thèse de doctorat en sciences économiques, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- CHIAPPORI, P.-A., LEVITT, S. et GROSECLOSE, T. (2002). Testing Mixed-Strategy Equilibria When Players Are Heterogeneous : The Case of Penalty Kicks in Soccer. *The American Economic Review*, 92(4):1138–1151.
- CIPOLLA, C. (1962). *The Economic History of World Population (Trad. fra. Histoire économique de la population mondiale)*. Penguin, Harmondsworth. (Traduction française : Gallimard, Paris).
- CLAPP, L. J. et JENKIN, M. E. (2001). Analysis of the relationship between ambient levels of O₃, NO₂ and NO as a function of NO_x in the UK. *Atmospheric Environment*, 35:6391–6405.
- CLAWSON, M. (1959). Statistical Data Available for Economic Research on Certain Types of Recreation. *Journal of the American Statistical Association*, 54(285):281–309.
- CLAWSON, M. et KNETSCH, J. L. (1966). Economics of outdoor recreation. *American Journal of Agricultural Economics*, 50(4):328.
- CLEAN AIR FOR EUROPE (2004). Health Aspects of Air Pollution - Results from the WHO Project. Systematic Review of Health Aspects of Air Pollution in Europe. Rapport technique, World Health Organisation Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- CLEAN AIR FOR EUROPE (2005). CAFE CBA : Baseline Analysis 2000 to 2020. Rapport technique, Rapport pour la Commission Européenne - DG Environnement, Didcot, Oxon, UK.
- CLEAN AIR FOR EUROPE (2006). An update on cost-benefit analysis of the CAFE programme. Rapport technique, Rapport pour la Commission Européenne - DG Environnement, Didcot, Oxon, UK.
- CLEWLOW, R. R., SUSSMAN, J. M. et BALAKRISHNAN, H. (2014). The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic. *Transport Policy*, 33:136–143.
- COCHRANE, J. et ZELENY, M. (1973). *Multi Criteria Decision Making*. University of South Carolina Press, Columbia.
- COHEN, M. et JAFFRAY, J.-Y. (1980). Rational Behavior under Complete Ignorance. *Econometrica*, 48(5):1281–1299.
- COHEN, M. et TALLON, J.-M. (2000). Décision dans le risque et dans l'incertain : l'apport des modèles non additifs. *Revue d'économie politique*, 110(5):631–681.
- COLLETIS, G. et PECQUEUR, B. (1993). Intégration des espaces et quasi-intégration des firmes : vers de nouvelles rencontres productives. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, 3:489–508.

- COMBES, P.-P., MAYER, T. et THISSE, J.-F. (2006). *Economic Geography*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- COMMISSARIAT GÉNÉRAL À LA STRATÉGIE ET À LA PROSPECTIVE (CGSP) (2013). L'évaluation Socioéconomique des Investissements Publics. Rapport technique, Rapport pour le Premier Ministre, Paris.
- COMMISSION EUROPÉENNE (2015). *Procédures d'infraction du mois d'avril : principales décisions. Environnement : la Commission invite la France à prendre des mesures en matière de pollution de l'air*. Commission Européenne. Avis motivé. Communiqué de presse, Bruxelles.
- CONDORCET, J. A. N. (1785). *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix*. Imprimerie Royale, Paris.
- CONSEIL DE PARIS (2012). Communication 2012 DEVE 170 du Maire de Paris au conseil municipal sur la lutte contre la pollution, et adoptée le 13 novembre 2012.
- CONSEIL DE PARIS (2013). Communication 2013 DVD 205 du Maire de Paris au conseil municipal, sur le développement et l'exploitation d'un réseau public de bornes de recharges pour les véhicules hybrides et électriques, adoptée le 14 novembre 2013.
- COOMBS, C. H. (1964). *A Theory of Data*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- COOPER, R., DE JONG, D., FORSYTHE, R. et ROSS, T. (1994). Alternative Institutions for Resolving Coordination Problems : Experimental Evidence on Forward Induction and Preplay Communication. In FRIEDMAN, J. S., éditeur : *Problems of Coordination in Economic Activity*, chapitre 7, pages 129–146. Kluwer Academic Publishers, Berlin.
- COPP, D. (1987). The justice and rationale of cost-benefit analysis. *Theory and decision*, 23(1):65–87.
- COURLET, C. (2008). *L'Economie territoriale*. Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble.
- COWAN, R. et HULTÉN, S. (1996). Escaping lock-in : The case of the electric vehicle. *Technology and the Environment*, 53(1):61–79.
- CRAINICH, D. et EECKHOUDT, L. (2005). La notion économique de prudence. *Revue économique*, 56(5):1021–1032.
- CWI, D. et LYALL, K. (1977). Economic Impacts of Arts and Cultral Institutions : A Model for Assessment and a Case Study in Baltimore. Rapport technique, John Hopkins University, Baltimore, Md. Center for Metropolitan Planning and Research ; National endowment for the Arts, Washington D.C.
- DALKEY, N. et HELMER-HIRSCHBERG, O. (1962). An Experimental Application of the Delphi Method to the use of Experts. Rapport technique, RAND Corporation, Santa Monica, CA.
- DAMART, S. et ROY, B. (2009). The uses of cost-benefit analysis in public transportation decision-making in France. *Transport Policy*, 16(4):200–212.
- DANTZIG, G. B. (1948). *Programming in a linear structure*. USAF, Washington D.C.

- DAVIS, R. K. (1963). Recreation Planning as an Economic Problem. *Natural Resources Journal*, 3:239–250.
- DE FINETTI, B. (1936). La logique de la probabilité. In *Actes du congrès international de philosophie scientifique de Paris, Tome IV*, pages 1–9. Hermann, Paris.
- DE FINETTI, B. (1937). La prévision : ses lois logiques, ses sources subjectives. *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, 7(1):1–68.
- de RUS, G. (2008). *The economic effects of high speed rail investment*. Working paper n16, OECD/ITJ Joint Transport Research Centre Discussion Papers, Las Palmas (Espagne).
- DEBREU, G. (1959). *Theory of Value : An Axiomatic Analysis of Economic Equilibrium*. Yale University Press, New Haven, CT.
- DEMEYER, F. et PLOTT, C. (1971). A Welfare Function Using Relative Intensity of Preference. *Quarterly Journal of Economics*, 85(1):179–186.
- DESAIGUES, B., AMI, D. et BARTCZAK, A. (2011). Economic valuation of air pollution mortality : A 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY). *Ecological indicators*, 11(3):902–910.
- DESVOUGES, W., JOHNSON, F., DUNFORD, R., BOYLE, K., HUDSON, S. et WILSON, K. (1993). Measuring natural resource damages with contingent valuation : tests of validity and reliability. In *Contingent Valuation : A Critical Assessment*, pages 91–159. North-Holland, Amsterdam.
- DIAMOND, P. A. et HAUSMAN, J. A. (1994). Contingent valuation : Is some number better than no number ? *The Journal of Economic Perspectives*, 8(4):45–64.
- DIAMOND, P. A. et ROTHSCILD, M. (1978). *Uncertainty in Economics : Readings and Exercises*. Academic Press, New York, NY.
- DIEUAIDE, P. (2014). The Revival of State Interventionism and European Industrial Relations : Some Lessons from a Survey. In RICHET, X., DELTEIL, V. et DIEUAIDE, P., éditeurs : *Strategies of Multinational Corporations and Social Regulations*, chapitre 10, pages 155–172. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Heidelberg.
- DOLAN, P. (2000). The measurement of health-related quality of life for use in resource allocation decisions in health care. *Handbook of health economics*, 1(B):1723–1760.
- DORFMAN, R. et ROTHKOPF, M. H. (1996). Why benefit-cost analysis is widely disregarded and what to do about it. *Interfaces*, 26(5):1–6.
- DRÈZE, J. et MODIGLIANI, F. (1972). Consumption decisions under uncertainty. *Journal of Economic Theory*, 5(3):308–335.
- DUBOIS, D. et PRADE, H. (1988). *Théorie des Possibilités : application à la représentation des connaissances en informatique*. Masson, Paris.
- DUPOIT, J. (1844). De la mesure de l'utilité des travaux publics. *Annales des Ponts et Chaussées*, 8(116):332–375.

- DUPUY, G. (1993). Géographie et économie des réseaux. *Espace géographique*, 22(3):193–209.
- DUPUY, G. (2002). "Cities and automobile dependence" revisité : les contrariétés de la densité. *Revue d'Economie Régionale & Urbaine*, 1(février):141–156.
- DUTCH COUNCIL FOR TRANSPORT AND PUBLIC WORKS (2004). Ieder zijn deel. Rapport technique, Raad voor verkeer en Waterstaat, Den Haag, Netherlands.
- DUVERNEY-PRET, C. (2008). *L'acceptabilité des politiques de stationnement : Observation d'une controverse lyonnaise*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- EBER, N. (2013). *Théorie des jeux*. Dunod, Paris, troisième édition.
- ÉCHAUDEMAISON, C.-D. (2001). *Dictionnaire d'Économie et de Sciences Sociales*. Nathan, Paris.
- EDGEWORTH, F. Y. (1881). *Mathematical psychics : An essay on the application of mathematics to the moral sciences*. Keagann Paul, London.
- EDWARDS, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological bulletin*, 51(4):380–417.
- EHRGOTT, M. et GANDIBLEUX, X. (2002). *Multi Criteria Optimization : State of the Art Annotated Bibliographic Surveys*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- EIJGENRAAM, C., KOOPMANS, C. C., TANG, P. J. et VERSTER, A. N. (2000). *Evaluation of Infrastructural Projects : Guide for Cost-Benefit Analysis*. Ministère des Transports Hollandais, Rotterdam, Pays-Bas.
- ELIASSON, J. (2009). A cost–benefit analysis of the Stockholm congestion charging system. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 43(4):468–480.
- ELIASSON, J. et MATTSSON, L.-G. (2006). Equity effects of congestion pricing. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 40(7):602–620.
- ELICHEGARAY, C., BOUALLALA, S., MAITRE, A. et BA, M. (2010). Etat et évolution de la pollution atmosphérique.
- ELLSBERG, D. (1961). Risk, ambiguity, and the Savage axioms. *The quarterly journal of economics*, 75(4):643–669.
- ELSTER, J. (1989). Social Norms and Economic Theory. *The Journal of Economic Perspectives*, 3(4):99–117.
- ERLANDSSON, L., ALMEN, J. et JOHANSSON, H. (2008). Measurement of emissions from heavy duty vehicles meeting euro IV/V emission levels by using on-board measurement in real life operation. In *16th International Symposium "Transport and Air Pollution"*, pages 1–9, Graz, Austria.
- EULER, L. (1736). Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. *Opera Omnia*, 7:128–140.
- EVANS, M. F., POULOS, C. et KERRY SMITH, V. (2011). Who counts in evaluating the effects of air pollution policies on households? Non-market valuation in the presence of dependencies. *Journal of Environmental Economics and Management*, 62(1):65–79.

- FABER, M. et PROOPS, J. L. (1993). *Evolution, Time, Production and the Environment*. Springer-Verlag, Berlin, deuxième édition.
- FAGENCE, M. (2014). *Citizen Participation in Planning*. Elsevier, Exeter (UK).
- FAUCHART, E. et COWAN, R. (2014). Weak Links and the Management of Reputational Interdependencies. *Strategic Management Journal*, 35:532–549.
- FAYOL, H. (1949). *General and Industrial Management*. Pitman and Sons, New York, NY.
- FEHR, E. et SCHMIDT, K. M. (1999). A theory of fairness, competition, and cooperation. *Quarterly Journal of Economics*, 114(3):817–868.
- FEREY, S. et PICHON-MAMÈRE, F. (2014). *Sen Amartya Kumar (1933-)*. Page internet, Encyclopedia Universalis, dernier accès en novembre 2014.
- FESTINGER, L. (1964). *Conflict, Decision and Dissonance*. Stanford University Press, Stanford.
- FISCHHOFF, B. (1977). Cost benefit analysis and the art of motorcycle maintenance. *Policy Sciences*, 8(2):177–202.
- FISCHHOFF, B. (1991). Value elicitation : is there anything in there ? *American Psychologist*, 46(8):835.
- FISHBURN, P. C. (1970). *Utility Theory for Decision Making*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- FISHER, A., MCCLELLAND, G. H. et SCHULZE, W. D. (1988). Measures of willingness to pay versus willingness to accept : Evidence, explanations, and potential reconciliation. *Amenity Resource Valuation : Integrating Economics with Other Disciplines*. State College, PA : Venture, pages 127–134.
- FLEMING, M. (1952). A cardinal concept of welfare. *The Quarterly Journal of Economics*, 66(3):366–384.
- FLOOD, M. M. (1958). Some experimental games. *Management Science*, 5(1):2–26.
- FLORIDA, R. (1995). Toward the learning region. *Futures*, 27(5):527–536.
- FLORIDA, R. (2010). *The flight of the creative class : The new global competition for talent*. HarperCollins, New York (USA).
- FLYVBJERG, B. (2005). Measuring inaccuracy in travel demand forecasting : methodological considerations regarding ramp up and sampling. *Transportation Research Part A*, 39(6):522–530.
- FLYVBJERG, B., SKAMRIS HOLM, M. et BUHL, S. (2005). How (in)accurate are demand forecasts in public works projects? The case of transportation. *Journal of the American Planning Association*, 71(2):131–146.
- FORKENBROCK, D. (2001). Comparison of external costs of rail and truck freight transportation. *Transportation Research Part A*, 35(4):321–337.

- FORTEMPS, P. et SŁOWIŃSKI, R. (2002). A Graded Quadrivalent Logic for Ordinal Preference Modelling : Loyola-Like Approach. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 1(1):93–111.
- FOSGERAU, M. (2007). Using non-parametrics to specify a model to measure the value of travel time. *Transportation Research Part A*, 41(9):842–856.
- FRISCH, D. et BARON, J. (1988). Ambiguity and Rationality. *Journal of Behavioral Decision Making*, 1(3):149–457.
- FRÖIDH, O. (2005). Market effects of regional high-speed trains on the Svealand line. *Journal of Transport Geography*, 13(4):352–361.
- FUGUITT, D. et WILCOX, S. J. (1999). *Cost-benefit Analysis for Public Sector Decision Makers*. Greenwood Publishing Group, Westport, CT.
- GARDINER, L. R. et VANDERPOOTEN, D. (1997). Interactive Multiple Criteria Procedures : Some Reflections. In *Multicriteria Analysis*, pages 290–301. Springer Berlin Heidelberg, Heidelberg.
- GAREY, M. et JOHNSON, D. (1979). *Computers and Intractability*. Freeman, New York, NY.
- GAVETTI, G., LEVINTHAL, D. A. et RIVKIN, J. W. (2005). Strategy Making in Novel and Complex Worlds : The Power of Analogy. *Strategic Management Journal*, 26(8):691–712.
- GAYANT, J.-P. (2001). *Risque et décision*. Vuibert, Paris.
- GEANAKOPOLOS, J., PEARCE, D. et STACCHETTI, E. (1989). Psychological games and sequential rationality. *Games and Economic Behavior*, 1(1):60–79.
- GIARINI, O. et STAHEL, W. R. (1993). *The Limits to Certainty - Facing Risks in the New Service Economy*, volume 1993. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas.
- GIEC (2007). Le Rapport 2007 du GIEC. Bilan des changements climatiques : les bases scientifiques physiques. Rapport technique, Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC), Organisation des Nations Unies (ONU), Genève, Suisse.
- GIEC (2013). Climate change 2013. The physical science basis. Rapport technique, Rapport, Contribution du Groupes de travail I au cinquième rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat, Stockholm, Suède.
- GIGERENZER, G. (2002). The Adaptive Toolbox. In GIGERENZER, G. et SELTEN, R., éditeurs : *Bounded Rationality : The Adaptive Toolbox*, chapitre 3, pages 37–50. MIT Press, Cambridge, MA.
- GIGERENZER, G. et SELTEN, R. (2002). Rethinking Rationality. In GIGERENZER, G. et SELTEN, R., éditeurs : *Bounded Rationality : The Adaptive Toolbox*, chapitre 1, pages 1–12. MIT Press, Cambridge, MA.
- GILBOA, I. et SCHMEIDLER, D. (2001). A cognitive model of individual well-being. *Social Choice and Welfare*, 18(2):269–288.
- GIVONI, M. (2006). Development and Impact of the Modern High-Speed Train : A Review. *Transport Reviews*, 26(5):593–611.

- GLEICHER, D. (1982). The historical bases of physiocracy : An Analysis of the "Tableau Economique". *Science & Society*, 46(3):328–360.
- GODET, M. (2001). *Manuel de Prospective stratégique*. Dunod, Paris, deuxième édition.
- GRANT-MULLER, S., MACKIE, P., NELLTHORP, J. et PEARMAN, A. (2001). Economic appraisal of European transport projects : the state-of-the-art revisited. *Transport Reviews*, 21(2):237–261.
- GRAWITZ, M. et LECA, J. (1985). Les Politiques publiques. In GRAWITZ, M., LECA, J. et THOENIG, J.-C., éditeurs : *Traité de science politique*, chapitre Tome 4. Presses Universitaires de France, Paris.
- GREENLEY, D. A., WALSH, R. G. et YOUNG, R. A. (1981). Option Value : Empirical Evidence From a Case Study of Recreation and Water Quality. *The Quarterly Journal of Economics*, 96(4):657–673.
- GREFFE, X. (1997). *L'évaluation des projets publics*. Economica, Paris.
- GRIFFIN, J. M. (1977). Long-run production modeling with pseudo-data : electric power generation. *The Bell Journal of Economics*, 8(1):112–127.
- GRIMOT, M. (2010). Zones à bas niveaux d'émission en Europe - qualité de l'air et mobilité urbaine. Rapport technique, Rapport pour le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, MEDDTL, Paris La Défense.
- GUERRIEN, B. et GUN, O. (2012). Incertitude. In *Dictionnaire d'analyse économique*, pages 259–261. Collection Grands Repères - Dictionnaires, Editions La Découverte, Paris, 4ème édition.
- GUILLAUME, H. (1972). L'analyse couts-avantages et la preparation des decisions publiques. *Revue économique*, 23(3):358–409.
- GUL, F. (2008). Behavioural economics and game theory. In DURLAUF, S. N. et BLUME, L. E., éditeurs : *The New Palgrave Dictionary of Economics*, pages 1–10. Palgrave Macmillan. The New Palgrave Dictionary of Economics Online, Basingstoke, UK, deuxième édition.
- GUTIÉRREZ, J. (2001). Location, economic potential and daily accessibility : an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border. *Journal of Transport Geography*, 9(4):229–242.
- HAMMOND, P. J. (1976). Why Ethical Measures of Inequality Need Interpersonal Comparisons. *Theory and Decision*, 7(4):263–274.
- HAN, S., BIAN, H., FENG, Y., LIU, A., LI, X., ZENG, F. et ZHANG, X. (2011). Analysis of the Relationship between O₃, NO and NO₂ in Tianjin, China. *Aerosol and Air Quality Research*, 11:128–139.
- HANBERGER, A. (2006). Evaluation of and for Democracy. *Evaluation*, 12(1):17–37.
- HANEMANN, W. M. (1994). Valuing the environment through contingent valuation. *The Journal of Economic Perspectives*, 8(4):19–43.

- HANSSON, S. O. (1989). Dimensions of Risk. *Risk Analysis*, 9(1):107–112.
- HANSSON, S. O. (2004). Weighing Risks and Benefits. *Topoi*, 23(2):145–152.
- HANSSON, S. O. (2007). Philosophical problems in cost–benefit analysis. *Economics and Philosophy*, 23(2):163–183.
- HARRIS, J. M. (2006). *Environmental and Natural Resource Economics : A Contemporary Approach*. Houghton Mifflin Company, Boston, MA, deuxième édition.
- HARSANYI, J. C. (1953). Cardinal utility in welfare economics and in the theory of risk-taking. *The Journal of Political Economy*, 61(5):434–435.
- HARSANYI, J. C. (1955). Cardinal welfare, individualistic ethics and interpersonal comparisons of utility. *Journal of political economy*, 63(4):309–321.
- HARSANYI, J. C. (1967). Games with Incomplete Information Played by "Bayesian" Players, I–III Part I. The Basic Model. *Management Science*, 14(3):159–182.
- HARSANYI, J. C. (1968a). Games with Incomplete Information Played by "Bayesian" Players Part II. Bayesian Equilibrium Points. *Management Science*, 14(5):320–334.
- HARSANYI, J. C. (1968b). Games with Incomplete Information Played by "Bayesian" Players, Part III. The Basic Probability Distribution of the Game. *Management Science*, 14(7):486–502.
- HARSANYI, J. C. (1986). *Rational behaviour and bargaining equilibrium in games and social situations*. Cambridge University Press, Cambridge, MA, second édition.
- HARSANYI, J. C. (1995). A New Theory of Equilibrium Selection for Games with Incomplete Information. *Games and Economic Behavior*, 10(2):318–332.
- HARSANYI, J. C. et SELTEN, R. (1988). *A General Theory of Equilibrium Selection in Games*. MIT Press, Cambridge, MA.
- HART, R. et LATA CZ-LOHMANN, U. (2001). The indifference curve, motivation, and morality in contingent valuation. *Environmental Values*, 10(2):225–242.
- HARTMANIS, J. et STEARNS, R. (1965). On the Computational Complexity of Algorithms. *Transactions of the American Mathematical Society*, 117:285–306.
- HAUER, E. (1994). Can one estimate the value of life or is it better to be dead than stuck in traffic? *Transportation Research Part A*, 28(2):109–118.
- HAYASHI, Y. et MORISUGI, H. (2000). International comparison of background concept and methodology of transportation project appraisal. *Transport Policy*, 7(1):73–88.
- HEAP, S. H. (1989). *Rationality in economics*. Basil Blackwell, Oxford.
- HEGEL, G. W. F. (1830). *La Raison dans l'histoire. Introduction à la philosophie de l'histoire (Die Vernunft in der Geschichte)*. Union Générale d'Éditions (UGE), Paris.

- HEINZERLING, L. (2000). The Rights of Statistical People. *Harvard Environmental Law Review*, 24(1):189–208.
- HEINZERLING, L. (2001). Markets for Arsenic. *Georgetown Law Journal*, 90:2311–2339.
- HENSHER, D. (2006). Towards a practical method to establish comparable value of travel time savings from stated choice experiments with differing design dimensions. *Transportation Research Part A*, 40(10):829–840.
- HERLITZ, L. (1996). From spending and reproduction to circuit flow and equilibrium : the two conceptions of Tableau économique. *The European Journal of the History of Economic Thought*, 3(1):1–20.
- HICKS, J. R. S. (1939). The Foundations of Welfare Economics. *The Economic Journal*, 49(196):696–712.
- HIDALGO, A. (2015). Communication au Conseil de Paris des 9 et 10 février 2015. Lutte contre la pollution atmosphérique liée au trafic routier.
- HILL, C. et JONES, G. (2007). *Strategic Management : An Integrated Approach*. Cengage Learning, Boston, MA.
- HIRSHLEIFER, J. et RILEY, J. (1979). The Analytics of Uncertainty and Information - An Expository Survey. *Journal of Economic Literature*, 17(4):1375–1421.
- HOCHMAN, H. M. et RODGERS, J. D. (1969). Pareto optimal redistribution. *The American Economic Review*, 59(4):542–557.
- HODGSON, G. M. (1996). *Economics and Evolution : Bringing Life Back into Economics*. University of Michigan Press, Ann Arbor.
- HOFSTETTER, P., BARE, J. C. et HAMMITT, J. K. (2002). Tools for comparative analysis of alternatives : competing or complementary perspectives? *Risk Analysis*, 22(5):833–851.
- HOLLANDER, Y. (2006). Direct versus indirect models for the effects of unreliability. *Transportation Research Part A*, 40(9):699–711.
- HOLZ-RAU, C. et SCHEINER, J. (2011). Safety and travel time in cost-benefit analysis : A sensitivity analysis for North Rhine-Westphalia. *Transport Policy*, 18(2):336–346.
- HORKHEIMER, M. (1974). *Critique of Instrumental Reason*. Seabury Press, New York.
- HORNSTEIN, D. T. (1993). Lessons from Federal Pesticide Regulation on the Paradigms and Politics of Environmental Law Reform. *Yale Journal on Regulation*, 10:369–446.
- HOTELLING, H. (1929). Stability in competition. *Economic Journal*, 39(153):41–57.
- HYARD, A. (2012). Cost-benefit analysis according to Sen : an application in the evaluation of transport infrastructures in France. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 46(4):707–719.

- IACONO, M. et LEVINSON, D. (2008). Review of Methods for Estimating the Economic Impact of Transportation Improvements.
- IKEDA, S. (1990). Market-process theory and "dynamic" theories of the market. *Southern Economic Journal*, 57(1):75–92.
- INFRAS/IWW (2004). External Cost of Transport. Rapport technique, INFRAS, Zürich, Suisse.
- INVS (2011). Aphekom : Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe. Rapport technique, Institut de Veille Sanitaire, Paris.
- JACOB, S. (2008). Cross-Disciplinarization : A New Talisman for Evaluation? *American Journal of Evaluation*, 29(2):175–194.
- JACOB, S. (2010). Evaluation. In BOUSSAGUET, L., JACQUOT, S. et RAVINET, P., éditeurs : *Dictionnaire des politiques publiques*, pages 257–266. Presses de Sciences Po, Paris, troisième édition.
- JACQUET-LAGRÈZE, E. et SISKOS, J. (1982). Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method. *European Journal of Operational Research*, 10(2):151–164.
- JOLLS, C., SUNSTEIN, C. R. et THALER, R. H. (1998). A Behavioral Approach to Law and Economics. *Stanford Law Review*, 50(5):1471–1550.
- JOSS, S. et DURANT, J. (1995). *Public participation in science. The role of consensus conferences in Europe*. Science Museum, London, UK.
- JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPÉENNE (2008). Directive 2008/50/CE du Parlement Européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.
- JOURNAL OFFICIEL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES (1999). Directive 1999/30/CE du Conseil Européen du 2 avril 1999 relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant.
- JOYAL, A. (2013). L'intelligence territoriale face aux exigences du développement durable : exemples marocains et brésiliens. In *Actes de la Conférence ICI les territoires, l'Intelligence, la Communication et l'Ingénierie territoriales pour penser ensemble le développement des territoires*, pages 1–10, Gatineau, Trois-Rivières. Canada.
- KAHN, M. E. (2008). Urban environment and quality of life. In DURLAUF, S. N. et BLUME, L. E., éditeurs : *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan. The New Palgrave Dictionary of Economics Online, Basingstoke, UK, deuxième édition.
- KAHNEMAN, D. (2003). Maps of bounded rationality : Psychology for behavioral economics. *American economic review*, 93(5):1449–1475.
- KAHNEMAN, D. (2012). *Thinking Fast and Slow*. Penguin Books, London.

- KAHNEMAN, D. et FREDERICK, S. (2002). Representativeness revisited : Attribute substitution in intuitive judgment. *In The Psychology of Intuitive Judgment*, pages 49–81. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- KAHNEMAN, D. et KNETSCH, J. L. (1992). Valuing public goods : The purchase of moral satisfaction. *Journal of Environmental Economics and Management*, 22(1):57–70.
- KAHNEMAN, D. et TVERSKY, A. (1979). Prospect Theory : An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2):263–291.
- KALDOR, N. (1939). Welfare propositions of economics and interpersonal comparisons of utility. *The Economic Journal*, 49(195):549–552.
- KANEKO, M. et NAKAMURA, K. (1979). The Nash Social Welfare Function. *Econometrica*, 47:423–435.
- KANTOROVICH, L. (1939). Mathematical Methods in the Organisation and Planning of Production. *Management Science*, 6(4):366–422.
- KAST, R. (2002). *La théorie de la décision*. La Découverte, Paris, deuxième édition.
- KEENEY, R. L. et RAIFFA, H. (1976). *Decisions with multiple objectives : preferences and value Tradeoffs*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- KEENEY, R. L. et von WINTERFELDT, D. (1986). Why Indirect Health Risks of Regulations Should be Examined. *Interfaces*, 16(6):13–27.
- KELLY, J. S. (1991). Social choice bibliography. *Social Choice and Welfare*, 8(2):97–169.
- KELMAN, S. (1981). Cost-benefit analysis : an ethical critique. *Regulation*, 5(1):33–40.
- KEMP, M. C. et NG, Y.-K. (1976). On the existence of social welfare functions, social orderings and social decision functions. *Economica*, 43(169):59–66.
- KEYNES, J. M. (1936). *The General Theory of Employment, Interest and Money*. Harcourt, New York, NY.
- KEYNES, J. M. (1937). The general theory of employment. *The quarterly journal of economics*, 51(2):202–223.
- KEYNES, J. M. (1990). La théorie générale de l'emploi (1937). *Revue française d'économie*, 5(4):141–156.
- KHALIL, E. L. (1997). Chaos theory versus Heisenberg's uncertainty : risk, uncertainty and economic theory. *The American Economist*, 41(2):27–40.
- KIMBALL, M. (1990). Precautionary saving in the small and in the large. *Econometrica*, 58(1):53–73.
- KIRBY, M. (2002). *A History of Operational Research in Britain*. World Scientific, London, UK.

- KIRZNER, I. M. (1963). *Market Theory and the Price System*. D. van Norstrand Company, Princeton, NJ.
- KIRZNER, I. M. (1998). *How Markets Work : Disequilibrium, Entrepreneurship and Discovery*. The Institute of Economic Affairs, London, UK.
- KLING, C. L., LIST, J. A. et ZHAO, J. (2013). A dynamic explanation of the willingness to pay and willingness to accept disparity. *Economic Inquiry*, 51(1):909–921.
- KLING, C. L., PHANEUF, D. J. et ZHAO, J. (2012). From Exxon to BP : Has some number become better than no number ? *The Journal of Economic Perspectives*, 26(4):3–26.
- KNIGHT, F. H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. Houghton Mifflin, Boston, MA.
- KOLMOGOROV, A. (1950). Grundbegriffe der Warscheinlichkeitsrechnung (1933). In MORRISON, N., éditeur : *Foundations of the Theory of Probability (Traduction anglaise)*. Chelsea Green Publishing, New York, NY.
- KOOPMAN, B. (1956). Fallacies in Operations Research. *Operations Research*, 4(4):422–430.
- KRANTZ, D., LUCE, R. D., SUPPES, P. et TVERSKY, A. (1971). *Foundations of Measurement. Volume 1 : Additive and Polynomial Representations*. Academic Press, New York, NY.
- KREPS, D. M. (1990). Corporate culture and economic theory. In ALT, J. et SHEPSON, K., éditeurs : *Perspectives on Positive Political Economy*, pages 90–143. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- KRUEGER, A. (1974). The political economy of the rent-seeking society. *American Economic Review*, 64(3):291–303.
- KRUGMAN, P. (1980). Scale economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade. *American Economic Review*, 70(5):950–959.
- KRUTILLA, J. V. (1967). Conservation reconsidered. *The American Economic Review*, 57(4):777–786.
- KUHN, H. W. (1953). Extensive games and the problem of information. *Contributions to the Theory of Games*, 2(28):193–216.
- KULA, E. (1996). Social project appraisal and historical development of ideas on discounting - a legacy for the 1990s and beyond. In KIRKPATRICK, C. H. et WEISS, J., éditeurs : *Cost-benefit Analysis and Project Appraisal in Developing Countries*, chapitre 5, pages 75–90. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
- KULA, E. et EVANS, D. (2011). Dual discounting in cost-benefit analysis for environmental impacts. *Environmental Impact Assessment Review*, 31(3):180–186.
- LACHMANN, L. M. (1978). An Austrian Stocktaking : Unsettled Questions and Tentative Answers. In SPADARO, L. M., éditeur : *New Directions in Austrian Economics*, chapitre 1, pages 1–18. Sheed Andrew and McKeel, Inc., Kansas City.

- LAFFONT, J.-J. (2001). *The Theory of Incentives : The Principal-Agent Model*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- LANDRY, M. (1995). A Note on the Concept of 'Problem'. *Organization Studies*, 16(2):315–343.
- LANDRY, M., MALOUIN, J.-L. et ORAL, M. (1983). Model validation in operations research. *European Journal of Operational Research*, 14(3):207–220.
- LANGLOIS, R. N. et COSGEL, M. M. (1993). Frank Knight on risk, uncertainty, and the firm : a new interpretation. *Economic inquiry*, 31(3):456–465.
- LANTNER, R. et LE GOFF, R. (2009). Analyse des impacts économiques directs et indirects d'un déploiement FTTH en France pour la Caisse des Dépôts et Consignations (confidentiel). Rapport technique, Arcep, Paris.
- LANTNER, R. et LEBERT, D. (2013). Dominance, dependence and interdependence in linear structures. A theoretical model and an application to the international trade flows.
- LASCOURMES, P. et SETBON, M. (1996). L'évaluation pluraliste des politiques publiques. Rapport technique, Commissariat général du Plan, Paris.
- LAVE, L. B. (1981). *The Strategy of Social Regulation*. Brookings Institution, Washington D.C.
- LAVE, L. B. (1984). Controlling contradictions among regulations. *American Economic Review*, 74(3):471–475.
- LAVE, L. B. (1991). Formulating Greenhouse Policies in a Sea of Uncertainty. *Energy Journal*, 12(1):9–21.
- LAVE, L. B. (1996). Benefit-Cost Analysis - Do the Benefits Exceed the Costs? In HAHN, R. W., éditeur : *Risks, Costs and Lives Saved. Getting Better Results from Regulation*, pages 104–134. AEI Press, Washington D.C.
- LAVILLE, F. (1998). Modélisations de la rationalité limitée : de quels outils dispose-t-on? *Revue économique*, 49(2):335–365.
- LAVILLE, F. (2000). La cognition située : Une nouvelle approche de la rationalité limitée. *Revue économique*, 51(6):1301–1331.
- LE GALÈS, P. (2010). Gouvernance. In BOUSSAGUET, L., JACQUOT, S. et RAVINET, P., éditeurs : *Dictionnaire des politiques publiques*, pages 299–308. Presses de Sciences Po, Paris, troisième édition.
- LE GOFF, R. et PROAG, S.-L. (2014a). Comment et jusqu'à quand évaluer? De l'Analyse Coûts-Bénéfices à la méthode CoBAYe. *Economie Appliquée*, LXVII(2):99–124.
- LE GOFF, R. et PROAG, S.-L. (2014b). Improving Public Policy Evaluation Through Revisiting Cost-Benefit Analysis Methods. In *Eastern Economic Association 40th Annual Conference*, pages 1–45, Boston, MA.
- LE MOIGNE, J.-L. (1977). *La théorie du système général : théorie de la modélisation*. Presses Universitaires de France, Paris.

- LEE, D. B. (2000). Methods for evaluation of transportation projects in the USA. *Transport Policy*, 7(1):41–50.
- LELAND, H. E. (1968). Saving and uncertainty : the precautionary demand for saving. *Quarterly Journal of Economics*, 82(3):465–473.
- LEMIEUX, V. (2006). Evaluation de programmes et analyse des politiques. *Télescope. Revue d'analyse comparée en administration publique*, 13(1):1–8.
- LENMAN, J. (2000). Consequentialism and Cluelessness. *Philosophy and Public Affairs*, 29(4):342–370.
- LEONTIEF, W. W. (1936). Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. *The Review of Economics and Statistics*, 18(3):105–125.
- LEONTIEF, W. W. (1937). Interrelation of Prices, Output, Savings, and Investment. *The Review of Economics and Statistics*, 19(3):109–132.
- LEONTIEF, W. W. (1941). *The Structure of the American Economy, 1919-1929*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- LEONTIEF, W. W. (1977). The future of the world economy. *Socio-Economic Planning Sciences*, 11(3):171–182.
- LEONTIEF, W. W. (2008). Input-output analysis. In DURLAUF, S. N. et BLUME, L. E., éditeurs : *The New Palgrave Dictionary of Economics*, pages 1–10. Palgrave Macmillan. The New Palgrave Dictionary of Economics Online, Basingstoke, UK, second édition.
- LEROY, S. F. et SINGELL, L. D. (1987). Knight on risk and uncertainty. *The Journal of Political Economy*, 95(2):394–406.
- LEUNG, W. (2013). Benefit-cost analysis of accelerated replacement of Hong Kong's pre-Euro IV buses. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 4(3):335–360.
- LEVINE, D. P. (1997). Knowing and Acting : on uncertainty in economics. *Review of Political Economy*, 9(1):5–17.
- LÉVY, J. et LUSSAULT, M. (2013). *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Editions Belin, Paris.
- LIND, R. C. (1982). A primer on the major issues relating to the discount rate for evaluating national energy options. In LIND, R. C., ARROW, K. J., COREY, G. R., DASGUPTA, P. S., SEN, A. K., STAUFFER, T., STIGLITZ, J. E. et STOCKFISH, J., éditeurs : *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*, pages 21–69. Routledge, London, UK.
- LINSTONE, H. A. et TUROFF, M. (2002). Introduction. In LINSTONE, H. A. et TUROFF, M., éditeurs : *The Delphi Method : Techniques and Applications*, chapitre 1, pages 3–12. NJIT, University Heights, Newark, NJ.
- LIPIETZ, A. (1983). *Le Capital et son espace*. Editions Maspéro, Paris, 2nd édition.

- LITTLE, I. M. D. et MIRRLEES, J. A. (1968). Manual of Industrial Project Analysis in Developing Countries. Rapport technique, OCDE, Paris.
- LITTLE, J. D., MURTY, K. G., SWEENEY, D. W. et KAREL, C. (1963). An Algorithm for the Traveling Salesman Problem. *Operations Research*, 11(6):972–989.
- LUCE, R. D. (1956). Semiorders and a Theory of Utility Discrimination. *Econometrica*, 24(2):178–191.
- LUCE, R. D. et RAIFFA, H. (1957). *Games and Decisions*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- LUCE, R. D. et von WINTERFELDT, D. (1994). What Common Ground Exists for Descriptive, Prescriptive, and Normative Utility Theories? *Management Science*, 40(2):263–279.
- MACHINA, M. J. et SCHMEIDLER, D. (1995). Bayes without Bernoulli : Simple Conditions for Probabilistically Sophisticated Choice. *Journal of Economic Theory*, 67(1):106–128.
- MACKIE, P. et PRESTON, J. (1998). Twenty-one sources of error and bias in transport project appraisal. *Transport Policy*, 5(1):1–7.
- MADARIAGA, B. et MCCONNELL, K. E. (1987). Exploring existence value. *Water Resources Research*, 23(5):936–942.
- MAIRIE DE PARIS (2015). *Charte du budget participatif*. Mairie de Paris - Budhet participatif, Paris.
- MÄLER, K.-G. (1974). *Environmental economics : a theoretical inquiry*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, second édition.
- MANDELBROT, B. (2009). *Une approche fractale des marchés : Risquer, perdre et gagner*. Odile Jacob, Paris.
- MANDELL, S. (2011). Carbon emission values in cost benefit analyses. *Transport Policy*, 18(6):888–892.
- MARCH, J. G. (1978). Bounded rationality, ambiguity, and the engineering of choice. *The Bell Journal of Economics*, 9(2):587–608.
- MARCH, J. G. et OLSEN, J. P. (1975). The uncertainty of the past : organizational learning under ambiguity. *European Journal of Political Research*, 3(2):147–171.
- MARCH, J. G. et OLSEN, J. P. (1976). *Ambiguity and choice in organizations*. Universitetsforlaget, Bergen, Norvège.
- MARCH, J. G. et SIMON, H. A. (1958). *Organisations*. Wiley, Oxford, UK.
- MARKOWITZ, H. M. (1952). The Utility of Wealth. *Journal of Political Economy*, 60(2):151–158.
- MARSHALL, A. (1890). *Principles of Economics*. Macmillan, 1930, London, huitième édition.
- MCCARTHY, J. et HAYES, P. J. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In MICHIE, D., éditeur : *Machine Intelligence, vol. 4*, pages 463–502. Edinburgh University Press, Edimburgh.

- MEDDTL (2010). Note méthodologique sur le contenu d'un projet d'expérimentation de Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air (ZAPA).
- MEEK, R. L. (2008). *The Economics of Physiocracy*. Routledge, London, UK, second édition.
- MEHROTRA, S. et JOLLY, R. (2000). *Development with a Human Face*. Oxford University Press, Oxford, deuxième édition.
- MENEZES, C., GEISS, C. et TRESSLER, J. (1980). Increasing downside risk. *American Economic Review*, 70(5):921–932.
- MÉNY, Y. et THOENIG, J.-C. (1989). *Politiques publiques*. Presses Universitaires de France, Paris.
- MEUNIER, V. (2009). Analyse Coûts-Bénéfices : guide méthodologique. Rapport technique, Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle, Toulouse, France.
- MIERNYK, W. H. (1970). *Simulating Regional Economic Development*. Heath Lexington Books, Lexington, MA.
- MILLER, J. C. (1989). III. The Economist as a Reformer : Revamping the FTC, 1981-1985. Rapport technique, American Enterprise Institute for Public Policy Research, Washington D.C.
- MINSKY, H. (1975). *John Maynard Keynes*. Columbia University Press, New York, NY.
- MISHAN, E. J. (1982). *Cost-Benefit Analysis : An Informal Introduction*. George Allen and Unwin, London, troisième édition.
- MIZZONI, J. (2010). *Ethics : the basics*. John Wiley & Sons, Oxford, 1st édition.
- MONNIER, E. (1992). *Evaluation de l'action des pouvoirs publics*. Economica, Paris, deuxième édition.
- MOORE, J. F. (1996). *The death of competition : leadership and strategy in the age of business ecosystems*. Harvard Business, New York (USA).
- MORGENSTERN, R. D. (1998). The benefits and costs of air pollution control. *Studies in environmental science*, 72:541–556.
- MORISUGI, H. (2000). Evaluation methodologies of transportation projects in Japan. *Transport Policy*, 7(1):35–40.
- MOROZ, D. (2005). Production of Scientific Knowledge and Radical Uncertainty : The Limits of the Normative Approach in Innovation Economics. *European Journal of Law and Economics*, 20(3):305–322.
- MORTON, G. et LAND, A. (1955). A Contribution to the "Travelling-Salesman" Problem. *Journal of the Royal Statistical Society*, 17(2):185–203.

- MOSCAROLA, J. (1984). Organizational decision processes and ORASA intervention. In TOMLINSON, R. et KISS, I., éditeurs : *Rethinking the Process of Operational Research and Systems Analysis*, pages 169–186. Pergamon Press, Oxford, UK.
- MOUREAU, N. et RIVAUD-DANSET, D. (2004). *L'incertitude dans les théories économiques*. La Découverte, Paris.
- MOUTER, N., ANNEMA, J. A. et VAN WEE, B. (2013). Ranking the substantive problems in the Dutch Cost-Benefit Analysis practice. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 49(Mars):241–255.
- MUELLER, D. C., FACCHINI, F., FOUCAULT, M., FRANÇOIS, A., MAGNI-BERTON, R. et MELKI, M. (2010). *Choix publics - Analyse économique des décisions publiques*. De Boeck, Bruxelles.
- MULLER, P. (2009). *Les Politiques publiques*. Presses Universitaires de France, Collection "Que sais-je?", Paris, huitième édition.
- MUTHOO, A. (1999). *Bargaining theory with applications*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- MUTZ, D. C. (2006). *Hearing the Other Side : Deliberative Versus Participatory Democracy*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- MYERSCOUGH, J. (1988). *Economic Importance of the Arts in Merseyside*. London Policy Studies Institute, London, UK.
- MYERSON, R. B. (2013). *Game Theory - Analysis of Conflict*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- NASH, J. F. (1950a). Equilibrium Points in n-Person Games. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 36(1):48–49.
- NASH, J. F. (1950b). *Non-Cooperative Games*. Phd thesis, University of Princeton.
- NASH, J. F. (1950c). The bargaining problem. *Econometrica*, 18(2):155–162.
- NASH, J. F. (1951). Non-Cooperative Games. *Annals of Mathematics*, 54(2):286–295.
- NÈGRE, L. (2011). Livre Vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules décarbonés. Rapport technique, Rapport pour le Premier Ministre de la République Française, Paris.
- NEUBERGER, H. (1971). User benefit in the evaluation of transport and land use plans. *Journal of Transport Economics and Policy*, 5(1):52–75.
- NEUMAN, M. (2006). Quelques exemples de méthodes participatives. In *Sciences et Société en mutation*, pages 1–9, Conférence à Strasbourg. CNRS.
- NEWELL, A. et SIMON, H. A. (1963). GPS, a program that stimulates human thought. In FEIGENBAUM, E. et FELDMAN, J., éditeurs : *Computers and Thought*, pages 279–293. McGraw-Hill, New York, NY.

- NG, Y.-K. (1975). Bentham or Bergson? Finite sensibility, Utility Functions and Social Welfare Functions. *Review of Economic Studies*, 42(4):545–569.
- NG, Y.-K. (1981). Bentham or Nash? On the Acceptable Form of Social Welfare Functions. *Economic Record*, 57(3):238–250.
- NILLES, D. (2012). Sociétés auxiliaires et sociétés liées aux sociétés auxiliaires. Impacts direct, indirect et induit sur l'économie genevoise. Rapport technique, Institut CREA.
- NILLSON, N. (1971). *Problem Solving Methods in Artificial Intelligence*. McGraw-Hill, New York, NY.
- NOCE, T. (2009). *Prendre des décisions collectives avec des méthodes participatives : préparer à la démocratie participative*. Chronique Sociale, Lyon.
- NURMI, H. (1999). *Voting Paradoxes and How to Deal with Them?* Springer-Verlag, Berlin.
- NUSSBAUM, M. C. et SEN, A. K. (1995). *Women, Culture and Development : A Study of Human Capabilities*. Clarendon Press, Oxford.
- OCDE (2007). Méthodes des préférences révélées pour l'évaluation des impacts non-marchands. In PEARCE, D., ATKINSON, G. et MOURATO, S., éditeurs : *Analyse coûts-bénéfices et environnement : Développements récents*, chapitre 7, pages 99–113. OECD Publishing, Paris.
- OCDE (2011). Améliorer la pratique de l'évaluation des projets de transport. In *Tables Rondes FIT, N 149*, page 120. OCDE, Rapport de la table Ronde du Forum International des Transports, tenu en 2011, Editions OCDE.
- OMS (2013). The European health report 2012 : charting the way to well-being. Rapport technique, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.
- OMS (2014). 7 millions de décès prématurés sont liés à la pollution de l'air chaque année. *Communiqué de presse de l'Organisation Mondiale de la Santé à Genève (Suisse)*.
- OMS BUREAU RÉGIONAL POUR L'EUROPE et OECD (2015). Economic cost of the health impact of air pollution in Europe : Clean air, health and wealth. Rapport technique, OMS Bureau Régional pour Europe, Copenhagen, Danemark.
- PAPADIMITRIOU, C. et STEIGLITZ, K. (1982). *Combinatorial Optimisation, Algorithms and Complexity*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- PARETO, V. F. D. (1906). *Manuale di economia politica, con una introduzione ulla scienza sociale*. Societa Editrice Libreria, traduit en français par A. Bonnet, Manuel d'Economie Politique, 2e édition, Paris, 1927, Milan, Italie.
- PARKS, R. P. (1976). An impossibility theorem for fixed preferences : a dictatorial Bergson-Samuelson welfare function. *The Review of Economic Studies*, 43(3):447–450.
- PARSONS, W. (1995). *An Introduction to the Theory and Practice of Policy Analysis*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.

- PATEMAN, C. (2012). Participatory Democracy Revisited. *Perspectives on Politics*, 10(01):7–19.
- PATTANAIK, P. K. (1968). Risk, Impersonality, and the Social Welfare Function. *Journal of Political Economy*, 76:1152–1169.
- PEARCE, D. (1998). Cost benefit analysis and environmental policy. *Oxford review of economic policy*, 14(4):84–100.
- PECQUEUR, B. (2008). Territorial dynamics : towards a new model of development facing globalization. In ARANGUREN QUEREJETA, M. J., ITURRIOZ LANDART, C. et WILSON, J. R., éditeurs : *Networks, Governance and Economic Development : Bridging Disciplinary Frontiers*, chapitre 3, pages 31–39. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK.
- PEER, S., KOOPMANS, C. et VERHOEF, E. T. (2010). Predicting Travel Time Variability for Cost-Benefit Analysis. *Transportation Research Part A*, 46(1):79–90.
- PELEG, B. et YAARI, M. E. (1973). On the existence of a consistent course of action when tastes are changing. *The Review of Economic Studies*, 40(3):391–401.
- PERNY, P. et TSOUKIAS, A. (1998). On the continuous extension of a four valued logic for preference modelling. In *Proceedings of the IPMU 98 Conference*, pages 302–309, Paris.
- PERRET, B. (2008). *L'évaluation des politiques publiques*. La Documentation Française, Collection Repères, Paris.
- PERROUX, F. (1965). *La pensée économique de Joseph Schumpeter : les dynamiques du capitalisme*. Librairie Droz, Genève, Suisse.
- PHILLIPS, A. (1955). The Tableau économique as a simple Leontief model. *Quarterly Journal of Economics*, 69:134–144.
- PICCIONE, M. et RUBINSTEIN, A. (1997). On the Interpretation of Decision Problems with Imperfect Recall. *Games and Economic Behavior*, 20(1):3–24.
- PIGOU, A. C. (1932). *The Economics of Welfare*. Macmillan, London.
- PINDYCK, R. S. (2007). Uncertainty in Environmental Economics. *Review of Environmental Economics and Policy*, 1(1):45–65.
- POMEROL, J.-C. (2006). La décision humaine : reconnaissance plus raisonnement. In BOUYSSOU, D., DUBOIS, D., PIRLOT, M. et PRADE, H., éditeurs : *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision, volume 1*, chapitre 4, pages 173–214. Hermès - Lavoisier, Paris.
- POPPER, K. R. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Harper, London, UK.
- PORTER, T. M. (1995). *Trust in Numbers : The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- POULTON, E. (1994). *Behavioral Decision Theory : A New Approach*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- PRATT, M. (1964). Risk aversion in the small and in the large. *Econometrica*, 32(1-2):122–136.

- PRAZNOCZY, C. (2012). Les bénéfices et les risques de la pratique du vélo : Evaluation en Ile-de-France. Rapport technique, ORS Ile-de-France, Paris.
- PRESSMAN, S. (1994). *Quesnay's Tableau économique. A Critique and Reassessment*. Augustus M Kelley, New York, NY.
- PROAG, S.-L. (2011). *Analyse comparative et retours d'expériences des "Low Emission Zones" européennes : quelle pertinence pour la faisabilité d'une "Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air" à Paris ?* Projet de fin d'études à l'ensta paristech, mené dans le cadre d'un stage de fin d'études à l'atelier parisien d'urbanisme (apur), Paris.
- PROAG, S.-L. et BAINÉE, J. (2014a). Curbing air pollution in Paris as the French capital goes electric : From Cost-Benefit Analysis to the CoBAYe decision-making tool. *In VI AERNA Conference - Spanish-Portuguese Association of Resource and Environmental Economics*, pages 1–34, Girona, Espagne. VI AERNA Asociacion.
- PROAG, S.-L. et BAINÉE, J. (2014b). Deployment of an electric charging point network infrastructure in Paris : an economic analysis via CoBAYe. *In 22nd GERPISA International Colloquium - Old and new spaces of the automotive industry : towards a new balance ?*, pages 1–35, Kyoto, Japon. GERPISA.
- PRUD'HOMME, R. et BOCAREJO, J. P. (2005). The London congestion charge : a tentative economic appraisal. *Transport Policy*, 12(3):279–287.
- PUTNAM, R. D. (2002). *Democracies in flux : The evolution of social capital in contemporary society*. Oxford University Press, Oxford.
- PUTTASWAMAIAH, K. et VENU, S. (1984). *Cost-benefit Analysis : A Theoretical and Applied Critique of Alternate Methodologies*. Oxford & IBH Publishing Company, New Delhi.
- QUESNAY, F. (1758). *Tableau économique, avec ses explications, ou extrait des économies royales de Sully*. Paris.
- QUINET, E. (2000). Evaluation methodologies of transportation projects in France. *Transport Policy*, 7(1):27–34.
- RABIN, M. (1993). Incorporating Fairness into Game Theory and Economics. *The American Economic Review*, 93(5):1281–1302.
- RABINOWICZ, W. (2002). Does Practical Deliberation Crowd Out Self-Prediction? *Erkenntnis*, 57(1):91–122.
- RABL, A. (2002). Environmental benefits of natural gas for buses. *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, 7(6):391–405.
- RADOPOULOU, S. C. (2010). *High Speed Rail in Greece : methods for evaluating economic impacts*. Thèse de doctorat, Massachusetts Institute of Technology.
- RAIFFA, H. (1969). Preferences for multi-attributed consequences. Rapport technique, Rapport Technique. RM-5868-DOT, The RAND Corporation, Santa Monica, CA.

- RAILTON, P. (1990). Benefit-Cost Analysis as a Source of Information about Welfare. In HAMMOND, R. B. et COPPOCK, R., éditeurs : *Decision Making : Report of a Conference*. National Academy Press, Washington D.C.
- RAMSEY, F. P. (1931). Truth and probability. In RAMSEY, F. P., éditeur : *The foundations of mathematics and other logical essays*. Harcourt Brace, New York.
- RASCOFF, S. J. et REVESZ, R. L. (2002). The Biases of Risk Tradeoff Analysis : Towards Parity in Environmental and Health-and-Safety Regulation. *The University of Chicago Law Review*, 69(4):1763–1836.
- RASMUSSEN, N. C. (1981). The application of probabilistic risk assessment techniques to energy technologies. *Annual Review of Energy*, 6(1):123–138.
- RATERMAN, T. (2012). Regulation, Compensation, and the Loss of Life : What Cost-Benefit Analysis Really Requires. *Ethics, Policy & Environment*, 15(1):97–118.
- RAWLS, J. A. (1971). *A Theory of Justice*. Belknap Press, Cambridge, MA.
- REAGAN, R. (1981). Executive Order 12291 - Federal Regulation.
- REILLY, M. (2007). Economic Growth Effects Analysis for the Bay Area to Central Valley Program - Level Environmental Impact Report and Tier 1 Environmental Impact Statement. Rapport technique, California High-Speed Rail Authority, Cambridge, MA.
- RESTA, M. (1954). Sur la théorie de la structure économique. *Revue économique*, 5(6):896–916.
- RHODES, R. A. W. (1997). *Understanding Governance : Policy Networks, Governance, Reflexivity and Accountability*. Open University Press, Buckingham.
- RIDKER, R. G. et HENNING, J. A. (1967). The Determinants of Residential Property Values with Special Reference to Air Pollution. *The Review of Economics and Statistics*, 49(2):246–257.
- RIETVELD, P. et VAN WEE, B. (2008). Ex ante evaluation of railway station development projects : Issues still to be solved. In BRUINSMA, F., PELS, E., RIETVELD, P., PRIEMUS, H. et van WEE, B., éditeurs : *Railway Development*, chapitre 8, pages 147–169. Physica-Verlag HD, Heidelberg.
- RINGLAND, G. (2002). *Scenarios in Public Policy*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
- RIVETT, P. (1994). *The Craft of Decision Modelling*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- ROBINSON, L. A. et HAMMITT, J. K. (2011). Behavioral Economics and the Conduct of Benefit-Cost Analysis : Towards Principles and Standards. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 2(2):2152–2182.
- ROSE, A. (1977). A simulation model for the economic assessment of alternative air pollution regulations. *Journal of Regional Science*, 17(3):327–344.
- ROSE, A. et MIERNYK, W. H. (1989). Input-Output Analysis : The First Fifty Years. *Economic Systems Research*, 1(2):229–272.

- ROSE-ACKERMAN, S. (2010). Putting Cost-Benefit Analysis in Its Place : Rethinking Regulatory Review. *University of Miami Law Review*, 65(2):335–356.
- ROSENHEAD, J. (1989). *Rational Analysis of a Problematic World*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- ROTARIS, L., DANIELIS, R., MARCUCCI, E. et MASSIANI, J. (2010). The urban road pricing scheme to curb pollution in Milan, Italy : Description, impacts and preliminary cost-benefit analysis assessment. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 44(5):359–375.
- ROTEMBERG, J. J. et SALONER, G. (1995). Overt interfunctional conflict (and its reduction through business strategy). *RAND Journal of Economics*, 26(4):630–653.
- ROTHBARD, M. (1991). *Économistes et Charlatans*. Les Belles Lettres, Coll. Laissez-Faire, Paris.
- ROTHENGATTER, W. (2000). Evaluation of infrastructure investments in Germany. *Transport Policy*, 7(1):17–25.
- ROY, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples : la méthode ELECTRE. *Revue Française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle*, 2(V1):57–75.
- ROY, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica, Paris.
- ROY, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 31(1):49–73.
- ROY, B. (1996). *Multicriteria Methodology for decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- ROZHDESTVENSKIY, D. et BOUCHNER, P. (2013). Electro vehicle Car-Sharing System - A Simulation Model for Big Cities. *ERCIM News*, 94(Avril):22–23.
- RUBINSTEIN, A. (1999). Experience from a Course in Game Theory : Pre- and Postclass Problem Sets as a Didactic Device. *Games and Economic Behavior*, 28(1):155–170.
- RUBINSTEIN, A. (2007). Instinctive and Cognitive Reasoning : A Study of Response Times. *The Economic Journal*, 117(523):1243–1259.
- RUFFIN, A., PROCHASSON, F. et PROAG, S.-L. (2013). Atelier de Prospective - Scénarios de Mobilité - Paris à l'horizon 2020. Rapport technique, Pôle Mobilité Durable, Agence de la Mobilité, Direction de la Voirie et des Déplacements, Mairie de Paris, Paris.
- RUNDE, J. (2000). Shackle on probability. In EARL, P. E. et FROWEN, S. F., éditeurs : *Economics as an Art of Thought. Essays in memory of GLS Shackle*, chapitre 10, pages 214–241. Routledge, London.
- SAATY, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, NY.
- SABBADIN, R. (2001). Possibilistic Markov decision processes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14(3):287–300.

- SACTRA (1999). Transport and the Economy, The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment. Report from the Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment commissioned by the UK Department of the Environment, Transport and the Regions. Rapport technique, Report from the Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment commissioned by the UK Department of the Environment, Transport and the Regions, London, UK.
- SADLER CONSULTANTS (2010). Low Emission Zones in Europe. Rapport technique, Report for the UK department for Transport, London, UK.
- SAKALAKI, M. (2002). Normes, conventions et représentations en économie : des substituts au savoir en situation d'asymétrie d'information. *Revue Internationale de Psychologie Sociale*, 15(2):117–146.
- SALAMON, L. M. (2002). *The Tools of Governance. A Guide to the New Governance*. Oxford University Press, Oxford.
- SALLING, K. B. et BANISTER, D. (2009). Assessment of large transport infrastructure projects : The CBA-DK model. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 43(9):800–813.
- SAMUELSON, P. A. (1938). The empirical implications of utility analysis. *Econometrica*, 6(4):344–356.
- SAMUELSON, P. A. (1947). *Foundations of Economic Analysis*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- SAMUELSON, P. A. (1977). Reaffirming the Existence of "Reasonable" Bergson-Samuelson Social Welfare Functions. *Economica*, 44(173):81–88.
- SAMUELSON, P. A. (1982). Quesnay's Tableau économique as a theorist would formulate it today. In BRADLEY, I. et HOWARD, M., éditeurs : *Classical and Marxian Political Economy*. Macmillan, London, UK.
- SANDMO, A. (1970). The effect of uncertainty on saving decisions. *Review of Economic Studies*, 37(3):353–360.
- SANTOS, G. et SHAFFER, B. (2004). Preliminary Results of the London Congestion Charging Scheme. *Public Works Management & Policy*, 9(2):164–181.
- SAPPINGTON, D. E. (1991). Incentives in Principal-Agent Relationships. *Journal of Economic Perspectives*, 5(2):45–66.
- SARGENT, T. J. (1993). *Bounded Rationality in Macroeconomics*. Clarendon Press, Oxford, UK.
- SASAKI, K., OHASHI, T. et ANDO, A. (1997). High-speed rail transit impact on regional systems : does the Shinkansen contribute to dispersion ? *The Annals of Regional Science*, 31(1):77–98.
- SAVAGE, L. J. (1954). *The foundation of statistics*. John Wiley & Sons, New York.
- SCHÄRLIG, A. (1996). *Pratiquer ELECTRE et PROMETHEE*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.

- SCHEFFLER, S. (1988). *Consequentialism and its Critics*. Oxford University Press, Oxford, première édition.
- SCHMIDTZ, D. (2001). A Place for Cost-Benefit Analysis. *Noûs*, 35(s1):148–171.
- SCHULZE, M. (2010). A new monotonic, clone-independent, reversal symmetric, and condorcet-consistent single-winner election method. *Social Choice and Welfare*, 36(2):267–303.
- SCHUMPETER, J. A. (1934). *The theory of economic development : An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. Transaction Publishers.
- SCHUMPETER, J. A. (1954). *History of Economic Analysis*. Allen & Unwin, London, UK.
- SCITOVSKY, T. (1941). A Note on Welfare Propositions in Economics. *The Review of Economic Studies*, 9(1):77–88.
- SELTEN, R. (1975). Reexamination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games. *International Journal of Game Theory*, 4(1):25–55.
- SELTEN, R. (1998). Aspiration Adaptation Theory. *Journal of Mathematical Psychology*, 42(2-3):191–214.
- SELTEN, R. (2002). What Is Bounded Rationality? In GIGERENZER, G. et SELTEN, R., éditeurs : *Bounded Rationality : The Adaptive Toolbox*, chapitre 2, pages 13–36. MIT Press, Cambridge, MA.
- SELTEN, R. et STOECKER, R. (1986). End behavior in sequences of finite Prisoner’s Dilemma supergames A learning theory approach. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 7(1):47–70.
- SEN, A. K. (1969). Quasi-Transitivity, Rational Choice and Collective Decisions. *The Review of Economic Studies*, 36(3):391–393.
- SEN, A. K. (1970a). *Collective Choice and Social Welfare*. Holden-Day, San Francisco, SF.
- SEN, A. K. (1970b). Interpersonal aggregation and partial comparability. *Econometrica*, 38(3):393–409.
- SEN, A. K. (1982). Approaches to the Choice of Discount Rates for Social Cost Benefit Analysis. In LIND, R., éditeur : *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*. Resources for the Future, Washington D.C.
- SEN, A. K. (1995). Rationality and social choice. *American Economic Review*, 85(1):1–24.
- SEN, A. K. (1997). *On Economic Inequality*. Oxford University Press, Oxford.
- SEN, A. K. (2000a). *Employment, Technology and Development*. Clarendon Press, Oxford, deuxième édition.
- SEN, A. K. (2000b). The Discipline of Cost-Benefit Analysis. *The Journal of Legal Studies*, 29(S2):931–952.

- SETTON, E. et MARSHALL, J. D. (2011). The impact of daily mobility on exposure to traffic-related air pollution and health effect estimates. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 21(1):42–48.
- SEVCIKOVA, H., RAFTERY, A. E., WADDELL, P. A. et ŠEVČÍKOVÁ, H. (2011). Uncertain benefits : application of Bayesian melding to the Alaskan way viaduct in Seattle. *Transportation Research Part A*, 45(6):540–553.
- SHACKLE, G. L. S. (1967). *Décision, déterminisme et temps*. Dunod, Paris.
- SHACKLE, G. L. S. (1990). *Time, expectations and uncertainty in economics*. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham, UK.
- SHAFER, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- SHAFER, G. (1990). *Readings in uncertain reasonings*. Morgan Kaufman Publishers, San Francisco, CA.
- SHAPIRO, S. J. (1997). Fear of Theory. *The University of Chicago Law Review*, 64(1):389–403.
- SHAPLEY, L. S. et SHUBIK, M. (1953). Solutions of n-person games with ordinal utilities. *Econometrica*, 21(2):348–349.
- SHEPARD, R. (1964). On subjectively optimum selection among multiattribute alternatives. In SHELLY, M. et BRYAN, G., éditeurs : *Human Judgement and Optimality*, pages 275–281. John Wiley & Sons, New York, NY.
- SHI, J. et ZHOU, N. (2012). A quantitative transportation project investment evaluation approach with both equity and efficiency aspects. *Research in Transportation Economics*, 36(1):93–100.
- SHOGREN, J. F., SHIN, S. Y., HAYES, D. J. et KLIEBENSTEIN, J. B. (1994). Resolving Differences in Willingness to Pay and Willingness to Accept. *The American Economic Review*, 84(1):255–270.
- SIMON, H. A. (1947). *Administrative Behavior : a Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization*. The Macmillan Company, New York.
- SIMON, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *Quarterly Journal of Economics*, 69(1):99–118.
- SIMON, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63(2):129–138.
- SIMON, H. A. (1957). *Models of man, social and rational*. Wiley, Oxford.
- SIMON, H. A. (1969). *The Science of the Artificial*. MIT Press, Cambridge, MA.
- SIMON, H. A. (1976a). From substantive to procedural rationality. In KASTELEIN, T., KUIPERS, S., NIJENHUIS, W. et WAGENAAR, G., éditeurs : *25 Years of Economic Theory*, pages 65–86. Springer US, Leiden.

- SIMON, H. A. (1976b). From substantive to procedural rationality. *In* LATSIS, S., éditeur : *Method and Appraisal in Economics*, pages 129–148. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- SIMON, H. A. (1983). *Reason in Human Affairs*. Basil Blackwell, Oxford, UK.
- SIMON, H. A. (1991). *Models of My Life*. Basic Books, New York, NY.
- SIMON, H. A. (1997). *Administrative Behavior*. The Free Press, New York, NY, 4 édition.
- SINGER, M. G. (1982). Incoherence, inconsistency, and moral theory : more on actual consequence utilitarianism. *The Southern Journal of Philosophy*, 20(3):375–391.
- SLOCUM, N., ELLIOTT, J., HEESTERBEEK, S. et LUKENSMEYER, C. J. (2006). *Méthodes participatives. Un guide pour l'utilisateur*. Fondation Roi Baudouin, Bruxelles.
- SMITH, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. Methuen & Co, London, UK.
- SMITH, V. K. et HUANG, J.-C. (1995). Can markets value air quality ? A meta-analysis of hedonic property value models. *Journal of Political Economy*, 103(1):209–227.
- SNELL, M. (1997). *Cost-benefit analysis for engineers and planners*. T. Telford.
- SOLOW, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 70(1):65–94.
- STACEY, R. D. (2007). *Strategic Management and Organisational Dynamics : The Challenge of Complexity to Ways of Thinking about Organisations*. Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey.
- STAVINS, R. N. (2008). Environmental Economics. *In* DURLAUF, S. N. et BLUME, L. E., éditeurs : *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan. The New Palgrave Dictionary of Economics Online, Basingstoke, UK, deuxième édition.
- STEWART, H. (1995). A critique of instrumental reason in economics. *Economics and Philosophy*, 11(1):57–83.
- STIF (2012). Plan de Déplacements Urbains en île-de-France. Rapport technique, Syndicat des Transports d'île-de-France (STIF) et Conseil Régional d'île-de-France, Paris.
- STIGLER, G. J. (1961). The economics of information. *Journal of Political Economy*, 69(3):213–225.
- STIGLITZ, J. E. (1983). *The Rate of Discount for Benefit-Cost Analysis and Theory of the Second Best*. Nber working paper r0393, Columbia Business School - Finance and Economics ; National Bureau of Economic Research (NBER), Columbia, NY.
- STOLERU, L. (1978). *L'équilibre et la croissance économiques : gérer la croissance douce*. Bordas, Paris.

- STORPER, M. (1997). *The regional world : territorial development in a global economy*. Guilford Press, New York, NY.
- STROTZ, R. H. (1955). Myopia and inconsistency in dynamic utility maximization. *The Review of Economic Studies*, 23(3):165–180.
- SUNSTEIN, C. R. (1998). *Legal Reasoning and Political Conflict*. Oxford University Press, Oxford, deuxième édition.
- SVENSON, O. (1996). Decision Making and the Search for Fundamental Psychological Regularities : What Can Be Learned from a Process Perspective? *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 65(3):252–267.
- SYTRAL (2003). La lettre du plan des déplacements urbains, 1. Rapport technique, SYTRAL, Lyon.
- SŁOWIŃSKI, R. et TEGHEM, J. (1990). *Stochastic versus Fuzzy Approaches to Multiobjective Mathematical Programming under Uncertainty*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- TAYLOR, A. (1995). *Mathematics and Politics : Strategy, Voting, Power and Proof*. Springer-Verlag, Berlin.
- TAYLOR, F. (1911). *The Principles of Scientific Management*. Harper & Row, New York, NY.
- TAYLOR, M. et WARD, H. (1982). Chickens, whales and lumpy goods : alternative models of public-goods provision. *Political Studies*, 30(3):350–370.
- THALER, R. H. et MULLAINATHAN, S. (2008). How behavioral economics differs from traditional economics. In *The Concise Encyclopedia of Economics*. Vol. 2.
- THOENIG, J.-C. (2010). Politique publique. In BOUSSAGUET, L., JACQUOT, S. et RAVINET, P., éditeurs : *Dictionnaire des politiques publiques*, pages 420–427. Presses de Sciences Po, Paris, troisième édition.
- THRIFT, N. et OLDS, K. (1996). Refiguring the economic in economic geography. *Progress in Human Geography*, 20(3):311–337.
- TIDEMAN, N. (1987). Independence of clones as a criterion for voting rules. *Social Choice and Welfare*, 4(3):185–206.
- TIEBOUT, C. M. (1969). An empirical regional input-output projection model : the State of Washington in 1980. *The Review of Economics and Statistics*, 51(3):334–340.
- TINBERGEN, J. (1962). *Shaping the World Economy : Suggestions for an International Economic Policy*. Twentieth Century Fund, New York, NY.
- TIROLE, J. (1986). Hierarchies and bureaucracies : On the role of collusion in organizations. *Journal of Law, Economics and Organization*, 2(2):181–214.
- TRANSPORT AND TRAVEL RESEARCH LTD (2006). Air Quality Impacts of Low Emission Zones. Rapport technique, Rapport à destination de la Mairie de Londres, London, UK.

- TRANSPORT FOR LONDON (2002). The Greater London (Central Zone) Congestion Charging Order 2001. Rapport technique, Report to the Mayor of London, London, UK.
- TRIBE, L. H. (1972). Policy science : Analysis or ideology? *Philosophy & Public Affairs*, 2(1):66–110.
- TRUMBULL, W. N. (1990). Who Has Standing in Cost-Benefit Analysis? *Journal of Policy Analysis and Management*, 9(2):201–218.
- TSOUKIAS, A. (2006). De la théorie de la décision à l'aide à la décision. In BOUYSSOU, D., DUBOIS, D., PIRLOT, M. et PRADÉ, H., éditeurs : *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision*, chapitre 1, pages 25–70. Hermès - Lavoisier, Paris.
- TUCKER, A. W. (2001). A Two-Person Dilemma. In *Readings in Games and Information*, pages 7–8. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- TURING, A. M. (1937). On computable numbers, with an application to the entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42:230–265.
- TURING, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, 59(236):433–460.
- TVERSKY, A. (1969). Intransitivity of preferences. *Psychological Review*, 76(1):31–48.
- TVERSKY, A. (1972). Elimination by aspects : A theory of choice. *Psychological Review*, 79(4):291–299.
- TVERSKY, A. (1977a). Features of similarity. *Psychological Review*, 84:327–352.
- TVERSKY, A. (1977b). On the elicitation of preferences : Descriptive and prescriptive considerations. In BELL, D., KEENEY, R. L. et RAIFFA, H., éditeurs : *Conflicting Objectives in Decisions*, pages 209–222. John Wiley & Sons, New York, NY.
- TVERSKY, A. et KAHNEMAN, D. (1981). The framing of decisions and the Psychology of Choice. *Science*, 211(30):453–458.
- TVERSKY, A., KAHNEMAN, D. et SLOVIC, P. (1982). *Judgment Under Uncertainty : Heuristics and Biases*, volume 185. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- VADNJAL, D. et O'CONNOR, M. (1994). What is the Value of Rangitoto Island? *Environmental Values*, 3(4):369–380.
- VALLIN, P. et VANDERPOOTEN, D. (2000). *Aide à la décision : une approche par les cas*. Ellipses, Paris.
- VAN ASSELT, M., MELLORS, J., RIJKENS-KLOMP, N., GREEUW, S., MOLENDIJK, K., BEERS, P. et VAN NOTTEN, P. (2001). *Building Blocks for Participation in Integrated Assessment : A review of participatory methods*. Working paper, International Center for Integrative Studies, Maastricht (Pays-Bas), Maastricht, Pays-Bas.
- VAN DOREN, P. (2013). Should Congress Listen to Economists? *The Journal of Politics*, 51(2):319–336.

- VAN HAGEN, M. (2004). Klantwensen bij Verblijven en Verplaatsen. Rapport technique, Nederlandse Spoorwegen, Amsterdam.
- VAN WEE, B. (2007). Rail Infrastructure : Challenges for Cost–Benefit Analysis and Other ex ante Evaluations. *Transportation Planning and Technology*, 30(1):31–48.
- VAN WEE, B. (2012). How suitable is CBA for the ex-ante evaluation of transport projects and policies? A discussion from the perspective of ethics. *Transport Policy*, 19(1):1–7.
- VAN WEE, B. et ROESER, S. (2013). Ethical Theories and the Cost–Benefit Analysis-Based Ex Ante Evaluation of Transport Policies and Plans. *Transport Reviews*, 33(6):743–760.
- VERHOEF, E. T. (1994). External effects and social costs of road transport. *Transportation Research Part A*, 28(4):273–287.
- VICKERMAN, R. (2000). Evaluation methodologies for transport projects in the United Kingdom. *Transport Policy*, 7(1):7–16.
- VICKERMAN, R. (2007). Cost-benefit analysis and large-scale infrastructure projects : state of the art and challenges. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 34(4):598–610.
- VICKERMAN, R. et ULIED, A. (2009). Indirect and wider economic impacts of high speed rail. In de RUS, G., éditeur : *Economic analysis of high speed rail in Europe*, chapitre 5, pages 89–118. Fundacion BBVA, Bilbao, Espagne.
- VICKERS, D. (1994). *Economics and the Antagonism of Time*. The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- VICKREY, W. (1960). Utility, Strategy and Social Decision Rules. *Quarterly Journal of Economics*, 74(4):507–535.
- VINCKE, P. (1982). Aggregation of preferences : a review. *European Journal of Operational Research*, 9(1):17–22.
- VINCKE, P. (1992). *Multicriteria Decision-Aid*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- VIVIANI, J.-L. (1994). Incertitude et rationalité. *Revue française d'économie*, IX:105–146.
- von NEUMANN, J. (1928). Sur la théorie des jeux. *Comptes rendus de l'académie des sciences*, 186(25):1689–1691.
- VON NEUMANN, J. et MORGENSTERN, O. (1944). *The theory of games and economic behavior*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 2nd rev. édition.
- von WINTERFELDT, D. et EDWARDS, W. (1986). *Decision Analysis and Behavioral Research*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- WAKKER, P. P. et TVERSKY, A. (1993). An axiomatization of cumulative prospect theory. *Journal of Risk and Uncertainty*, 7:147–176.
- WALLISER, B. (1995). Les paradoxes de la décision rationnelle. *Annales des Ponts et Chaussées*, 76:42–51.

- WALRAS, L. (1874). Éléments d'Économie Politique Pure. In *Auguste et Léon Walras. Œuvres Économiques Complètes*, chapitre 8. Corbaz, Lausanne (Suisse).
- WARD, H. (1987). The Risks of a Reputation for Toughness : Strategy in Public Goods Provision Problems Modelled by Chicken Supergames. *British Journal of Political Science*, 17(01):23–52.
- WARDMAN, M. (2004). Public transport values of time. *Transport Policy*, 11(4):363–377.
- WATZLAWICK, P., BEAVIN, J. et JACKSON, D. (1967). *Pragmatics of Human Communication*. Norton, New York, NY.
- WATZLAWICK, P., WEAKLAND, J. et FISCH, R. (1974). *Change : Principles of Problem Formation and Problem Resolution*. Norton, New York, NY.
- WEBER, A. (1909). *Ueber den Standort der Industrien (Trad. angl. The theory of the location of industries)*. J.C.B Mohr, Tübingen. Traduction anglaise : Chicago University Press, Chicago, 1929.
- WEBER, E. et COSKUNOGLU, O. (1990). Descriptive and prescriptive models of decision-making : implications for the development of decision aids. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20(2):310–317.
- WEIMER, D. L. (2008). Cost-Benefit Analysis. In DURLAUF, S. N. et BLUME, L. E., éditeurs : *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan. The New Palgrave Dictionary of Economics Online, Basingstoke, UK, deuxième édition.
- WEIMER, D. L. et VINING, A. R. (2005). *Policy analysis : Concepts and Practice*. Pearson, Upper Saddle River, New Jersey, 5th édition.
- WEISBROD, B. A. (1964). Collective-consumption services of individual-consumption goods. *The Quarterly Journal of Economics*, 78(3):471–477.
- WEITZMAN, M. L. (1998). Why the far-distant future should be discounted at its lowest possible rate. *Journal of Environmental Economics and Management*, 36(3):101–108.
- WHITE, L. J. (1981). *Reforming Regulation : Process and Problems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- WIENER, N. (1948). *Cybernetics*. MIT Press, Cambridge, MA.
- WILDAVSKY, A. (1966). The political economy of efficiency : cost-benefit analysis, systems analysis, and program budgeting. *Public Administration Review*, 26(4):292–310.
- WILLIAMSON, O. E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism*. The Free Press, New York, NY.
- WILLIAMSON, O. E. (1990). The Firm as a Nexus of Treaties : An Introduction. In AOKI, M., GUSTAFFSON, B. et WILLIAMSON, O. E., éditeurs : *The Firm as a Nexus of Treaties*, chapitre 7, pages 133–161. Sage Publications, London, UK.
- WILLIG, R. D. (1976). Consumer's surplus without apology. *The American Economic Review*, 66(4):589–597.

- WILLIS, K. G. (1998). A review of cost–benefit analysis as applied to the evaluation of new road proposals in the UK. *Transportation Research Part D*, 3(3):141–156.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION REGIONAL OFFICE FOR EUROPE (2006). Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Particulate Matter, ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. Rapport technique, Organisation Mondiale de la Santé, Copenhagen, Danemark.
- WRIGHT, T. (1936). Learning curve. *Journal of Aeronautical Sciences*, 3(1):122–128.
- ZADEH, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3):338–353.
- ZADEH, L. (1978). Fuzzy sets as a basis for theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1:3–28.
- ZERBE JR., R. O. (1991). Comment : Does Benefit-Cost Analysis Stand Alone? Rights and Standing. *Journal of Policy Analysis and Management*, 10(1):96–105.
- ZERBE JR., R. O. (2007). The Legal Foundation of Cost-Benefit Analysis. *Charleston Law Review*, 2:93–171.
- ZERBE JR., R. O., BAUMAN, Y. et FINKLE, A. (2006). An aggregate measure for benefit–cost analysis. *Ecological Economics*, 58(3):449–461.
- ZERBE JR., R. O. et BELLAS, A. S. (2006). Legal and Philosophical Foundations for Benefit-Cost Analysis. *In A Primer for Cost Benefit Analysis*. Edward Elgar Publishing, Northampton, MA.
- ZERBE JR., R. O. et DIVELEY, D. (1994). *Benefit-cost analysis : in theory and practice*. Harper-Collins, New York.

Table des matières

Introduction générale	1
I Les limites de l'analyse coûts-bénéfices (CBA) comme outil d'aide à la décision pour l'évaluation de politiques systémiques	27
Introduction de la première partie	30
1 L'aide à la décision : finalités et problèmes	33
1.1 Introduction	33
1.2 Les méthodes d'aide à la décision : finalités, histoire et typologie	34
1.2.1 Pourquoi aider à la décision ?	34
1.2.2 L'aide à la décision au cours du temps	35
1.2.3 Typologie de l'aide à la décision et situation de la CBA et de CoBAYe	46
1.3 Le problème de la décision collective : comment agréger les préférences individuelles ?	50
1.3.1 Pourquoi une décision collective ?	50
1.3.2 Le paradoxe de Condorcet	53
1.3.3 Le théorème d'impossibilité d'Arrow	55
1.3.4 Black et Sen : un affaiblissement des conditions du théorème d'Arrow	58
1.3.5 Bergson, Samuelson, Fleming, Harsanyi, Ng et Nash : les autres fonctions de bien-être social	60
1.3.6 Discussions et rôle de la valorisation monétaire dans la CBA	68
1.4 Le problème de la décision en situation d'incertitude : comment faire quand on ne connaît pas tous les états possibles ?	70

1.4.1	La distinction entre risque et incertitude	70
1.4.2	Le modèle de l'utilité espérée : Bernoulli, Von Neumann et Morgenstern .	81
1.4.3	L'extension du modèle aux situations d'incertitude : Savage et les probabi- lités subjectives	85
1.4.4	Discussions : l'incertitude probabiliste dans la CBA	89
1.5	Le problème des modèles d'aide à la décision : les hypothèses d'indépendance et de rationalité parfaite	90
1.5.1	La rationalité procédurale et CoBAYe	91
1.5.2	Les paradoxes expérimentaux des modèles néoclassiques et l'émergence de l'économie comportementale	99
1.5.3	Des modèles alternatifs de l'individu	107
1.6	Conclusion	116
2	La CBA : débats et questionnements théoriques	119
2.1	Introduction	119
2.2	Aperçu des fondements politiques et économiques sur lesquels s'appuie la CBA .	123
2.2.1	Conditions politiques	124
2.2.2	Hypothèses économiques	127
2.3	De qui faut-il tenir compte ?	129
2.3.1	Chaque individu est spécifique	129
2.3.2	La prise en compte des générations futures	129
2.3.3	« Les individus honnêtes et les votants »	130
2.3.4	Le territoire	130
2.4	Quels effets prendre en considération et comment les identifier ?	131
2.4.1	Une décision privée requiert-elle une CBA ?	131
2.4.2	Prendre en compte tous les effets possibles : une démarche exhaustive . .	132
2.4.3	La CBA est-elle subjective, reflétant les valeurs de l'analyste ?	137
2.5	Comment mesurer les effets ? La valorisation monétaire	140
2.5.1	Le choix d'attribuer des valeurs monétaires aux effets	141
2.5.2	Les techniques utilisées pour trouver une valeur monétaire	144
2.5.3	La valeur du taux d'actualisation	153

2.6	Comment tenir compte de l'incertitude?	154
2.6.1	En situation d'incertitude probabiliste, ou de risque	154
2.6.2	En situation d'incertitude radicale	155
2.7	Conclusion	157
3	Les limites de la CBA dans la pratique : interdépendances, propagation des effets et incertitude	160
3.1	Introduction	160
3.2	Revue des CBA appliquées à l'environnement et la mobilité	163
3.2.1	Représentation des résultats	163
3.2.2	Analyse des résultats : des analyses sectorielles, statiques et à durée d'évaluation exogène	165
3.3	Étude des guides méthodologiques institutionnels pour la pratique de la CBA	167
3.3.1	La méthode pour conduire des CBA aux Pays-Bas	167
3.3.2	L'analyse coûts-bénéfices de projets de transports ferroviaires aux Pays-Bas	171
3.3.3	L'évaluation de projets au Royaume-Uni	173
3.3.4	L'évaluation de projets en Californie	177
3.4	Études de cas : quatre CBA de politiques d'amélioration de la qualité de l'air	181
3.4.1	L'évaluation économique d'une mesure de renouvellement de la flotte de bus à Hong-Kong	181
3.4.2	L'analyse coûts-bénéfices de la mise en place du péage environnemental à Milan	190
3.4.3	L'analyse coûts-bénéfices du péage de Stockholm	195
3.4.4	L'analyse coûts-bénéfices du péage de Londres	200
3.5	Conclusion	203
	Conclusion de la première partie	206
II	L'outil d'aide à la décision CoBAYe	211
	Introduction de la deuxième partie	213

4 Prendre en compte l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées	219
4.1 Introduction	219
4.2 Le <i>Tableau économique</i> marque le début de l'étude d'interdépendances en économie	220
4.2.1 Des acteurs	221
4.2.2 Des interdépendances	221
4.2.3 Analyse et multiplicateur	223
4.2.4 Une inspiration pour de nombreux travaux	224
4.2.5 Limites du Tableau et liens avec CoBAYe	225
4.3 L'équilibre général de Walras (1874) envisage l'interdépendance des marchés, avec l'hypothèse de rationalité parfaite des individus	226
4.3.1 L'interdépendance des marchés	226
4.3.2 Théorèmes et caractéristiques de l'équilibre général	227
4.3.3 Avantages et limites	227
4.3.4 Inspirations et liens avec CoBAYe	228
4.4 L'analyse input-output de Leontief (1937) caractérise les interdépendances à structure économique constante	229
4.4.1 Fonctionnement de l'analyse input-output	230
4.4.2 Critiques et améliorations	233
4.4.3 Applications, inspirations et liens avec CoBAYe	234
4.5 Quelle utilisation de la théorie des jeux dans CoBAYe?	238
4.5.1 Bref aperçu de la théorie des jeux et des fonctions de décision	238
4.5.2 Le dilemme du prisonnier comme problème du bien public	244
4.5.3 Une version légèrement modifiée du dilemme du prisonnier	247
4.5.4 Le jeu dit de la « poule mouillée »	249
4.5.5 Le jeu dit de la « chasse au cerf »	250
4.5.6 Résolutions et intérêts de CoBAYe	252
4.6 Identifier l'interdépendance des politiques publiques et des stratégies privées avec CoBAYe	258

4.6.1	Les effets d'interdépendance dans les méthodes d'évaluation aujourd'hui : inspirations et démarcations	258
4.6.2	Les effets d'interdépendance dans CoBAYe : effets directs, indirects, induits et « <i>opportunity benefits</i> »	265
4.7	Conclusion	270
5	La prise en compte de l'incertitude dans CoBAYe	274
5.1	Introduction	274
5.2	Comment prendre en compte l'incertitude dans CoBAYe?	276
5.2.1	Comment évalue-t-on actuellement?	276
5.2.2	La durée d'évaluation est déterminée de manière endogène au processus d'évaluation CoBAYe	277
5.3	La construction du scénario d'évaluation avant l'horizon temporel t^*	284
5.3.1	L'utilisation des données du passé	287
5.3.2	L'utilisation des règles, des conventions et des routines	287
5.3.3	Des buts et des décisions subjectifs	289
5.4	Les causes de l'imprévisibilité : pourquoi existe-t-il un t^* , et quand le choisir?	290
5.4.1	L'incertitude radicale, conséquence de la Nature et de la subjectivité des choix de l'individu	292
5.4.2	L'incertitude psychologique « propre » émane de la psychologie inhérente à l'individu	294
5.4.3	L'incertitude environnementale, due à l'hypothèse de rationalité procédurale et aux effets d'interdépendances	299
5.4.4	L'incertitude comportementale due à l'asymétrie informationnelle	303
5.5	Conclusion	306
6	Représentation dynamique du territoire et formalisation de l'outil d'aide à la décision CoBAYe	308
6.1	Introduction	308
6.2	Représentation dynamique du territoire	309
6.2.1	L'économie géographique	310

6.2.2	L'économie territoriale	313
6.2.3	La « structure topo-économique du territoire »	316
6.2.4	Comment est caractérisé un changement de « structure topo-économique » ?	319
6.3	Intérêts de la représentation formalisée pour l'utilisation du modèle	323
6.4	Formalisation de l'outil d'aide à la décision CoBAYe	329
6.4.1	La structure topo-économique du territoire	329
6.4.2	Évolution de la STE	340
6.4.3	Incertitude et horizon temporel	344
6.5	Conclusion	347
Conclusion de la deuxième partie		350
III CoBAYe en pratique		355
Introduction de la troisième partie		357
7	Comment utiliser l'outil d'aide à la décision CoBAYe en pratique ?	361
7.1	Introduction	361
7.2	La nécessité d'un processus de concertation	364
7.2.1	Une approche participative	364
7.2.2	Quelques méthodes participatives existantes	365
7.2.3	Application dans CoBAYe	369
7.3	Définir le scénario de référence	371
7.4	Construire un scénario de projet	372
7.4.1	Analyse statique : fonctionnement à STE fixée	373
7.4.2	Analyse dynamique : le changement de STE	376
7.4.3	Identification des <i>effets</i> de la décision	378
7.4.4	La prise en compte de l'incertitude	382
7.5	Comparaison de deux options	386
7.5.1	Une frise des effets	387
7.5.2	L'analyse graphique	388

7.5.3	La valorisation monétaire	389
7.6	Comparaison de plusieurs options	391
7.6.1	La décision émanant d'un collège d'acteurs peut être incohérente	391
7.6.2	Quelques méthodes réduisant les incohérences	393
7.6.3	Les choix retenus dans l'outil CoBAYe	395
7.7	Conclusion	398
8	Les premiers pas de CoBAYe	404
8.1	Introduction	404
8.2	Une mise en œuvre de la méthode de CoBAYe	406
8.2.1	Les conditions de l'exercice : une simulation de CoBAYe	406
8.3	Les « scénarios de mobilité durable » proposés	412
8.3.1	Incitations à la désynchronisation des horaires dans la perspective d'un lissage des pics de circulation	412
8.3.2	Utilisation du « <i>crowdsourcing</i> » pour une action publique efficace, au plus près des attentes des usagers	416
8.3.3	Modulation de l'accès au stationnement afin d'orienter l'évolution du parc et accompagner le développement des nouveaux usages des véhicules individuels	420
8.4	Les enseignements de cet exercice	423
8.5	Conclusion	429
9	Évaluation par CoBAYe de la politique de mise en place d'un réseau de bornes de recharge électrique à Paris	431
9.1	Introduction	431
9.1.1	Le scénario de référence	432
9.1.2	Le scénario de projet	433
9.1.3	Hypothèses retenues	434
9.1.4	Résultats attendus par une analyse coûts-bénéfices	436
9.2	L'analyse dynamique : une « frise » des effets de CoBAYe	438
9.3	Dynamique des interactions	439
9.3.1	La période \mathbb{P}_0	439

9.3.2	La période \mathbb{P}_1	445
9.3.3	La période \mathbb{P}_2	457
9.3.4	La période \mathbb{P}_3	463
9.4	Valorisation monétaire : résultats et discussion	470
9.4.1	Version raccourcie de CoBAYe	470
9.4.2	Tableau des effets de la version raccourcie de CoBAYe	471
9.4.3	Hypothèses retenues pour la valorisation monétaire	471
9.4.4	Résultats	476
9.4.5	Discussion	479
9.5	Conclusion	487
10	Application de l’outil d’aide à la décision CoBAYe à la politique de « Zone à Circulation Restreinte » (ZCR) à Paris	489
10.1	Introduction	489
10.1.1	Bref historique des « <i>Low Emission Zones</i> » européennes, ancêtres des ZCR	491
10.1.2	Scénario de référence	501
10.1.3	Scénario de projet	502
10.2	L’analyse dynamique : une « frise » des effets de CoBAYe	504
10.3	Dynamique des interactions	505
10.3.1	La période \mathbb{P}_0	505
10.3.2	La période \mathbb{P}_1	511
10.3.3	Les périodes suivantes	524
10.4	Analyse des « structures topo-économiques » : discussions	525
10.4.1	Analyse statique des boucles	525
10.4.2	Analyse dynamique de l’évolution des relations entre acteurs	529
10.4.3	Identification des paramètres clés	538
10.5	Conclusion	542
	Conclusion de la troisième partie	544

Conclusion générale	549
Annexes	570
A Tableau de Leontief	572
B La théorie des jeux - définitions des termes	574
C « Plan anti-pollution »	579
D Classification des véhicules « polluants »	594
Bibliographie	598
Table des matières	636