

Modélisation numérique : Quel développement durable ?

Emmanuel Prados, Élise Arnaud

▶ **To cite this version:**

Emmanuel Prados, Élise Arnaud. Modélisation numérique : Quel développement durable ?. Les Cahiers de l'INRIA - La Recherche, 2010, Recréer la vie, 445 octobre 2010. inria-00537143

HAL Id: inria-00537143
https://inria.hal.science/inria-00537143

Submitted on 17 Nov 2010

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.

les cahiers de
L'INRIA
Rendez-vous avec les sciences et technologies de l'information et de la communication

MODÉLISATION NUMÉRIQUE

Quel développement durable ?

Si tout le monde, ou presque, s'accorde sur la nécessité d'un développement durable, une certaine cacophonie règne dès qu'il s'agit de rendre des arbitrages sur des solutions concrètes. Des outils d'aide à la décision pourraient faciliter la tâche des acteurs institutionnels.

Le concept de développement durable intègre trois dimensions fondamentales : l'environnement bien sûr, mais aussi le développement social et le développement économique. Pour nous, mathématiciens et informaticiens, travailler sur le développement durable nous conduit donc d'emblée à adopter une approche systémique, afin de pouvoir prendre en compte ces trois dimensions. C'est le défi que notre équipe s'est lancé en s'engageant dans une démarche de modélisation de ces systèmes complexes. Notre but est de mettre au point des outils d'aide à la décision destinés aux acteurs politiques pour anticiper plus rationnellement qu'aujourd'hui les effets d'une décision.

Jusqu'à ce jour, les politiques de développement durable ont essentiellement porté sur des questions d'environnement et d'énergie. Plusieurs raisons à cela. D'abord, on commence à bien connaître les risques en la matière. Ensuite, la prise de conscience par la population est encore insuffisante sur les autres aspects, outre le fait que les connaissances scientifiques manquent cruellement et que la définition même du développement durable et ce qu'elle recouvre exactement restent encore flous[1]. Or un décideur peut souhaiter apprécier l'impact social d'une mesure environnementale, par exemple, ne serait-ce que pour s'assurer qu'elle ne risque pas de renforcer des inégalités. C'est ainsi que nous en sommes arrivés à la notion de « fausses bonnes idées » dont nous pensons que l'émergence découle pour une part de l'absence d'approche globale. Du coup, des mesures d'apparence raisonnable peuvent se traduire par des effets pervers qui annihilent les effets bénéfiques attendus. En travaillant sur une facette on peut en dégrader une autre : par exemple l'économie si on ne travaille que sur l'environnement, ou le social si on ne considère que l'économie et l'environnement. Exemple : la politique de traitement des déchets mise en œuvre dans le canton de Vaud, en Suisse (voir l'encadré).

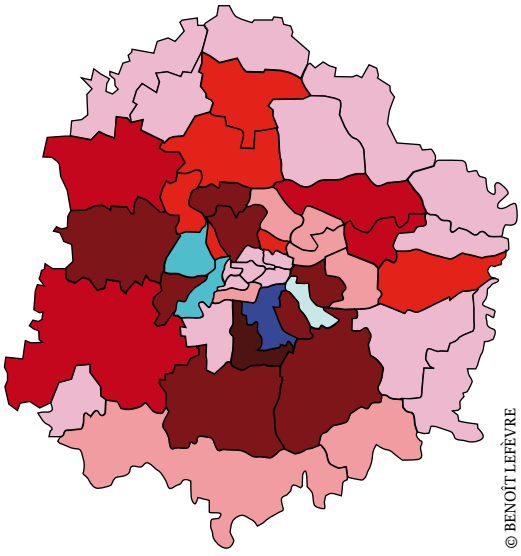
Une autre difficulté vient de ce qu'il est d'usage d'appeler les « effets rebonds » : ces effets sont liés à des boucles de rétroaction complexes et mal identifiées consécutives à une action politique *a priori* bonne, mais qui se trouve ainsi pervertie. Un exemple emblématique est celui des ampoules à faible consommation d'énergie. Non seulement elles contiennent du mercure, extrêmement toxique, mais les consommateurs ont cru qu'elles

Une bonne idée pervertie

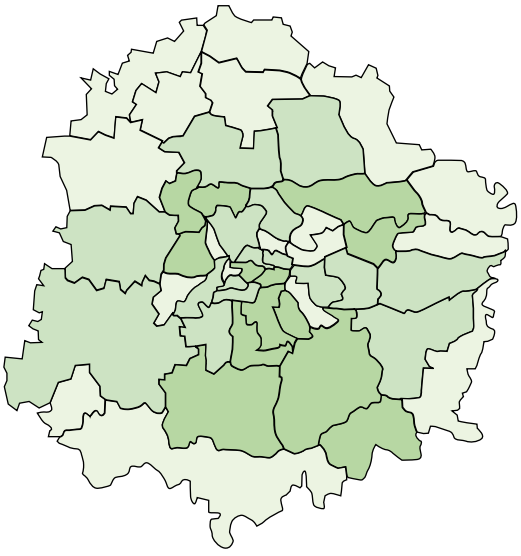
Comment le contexte culturel et socio-économique peut rendre une bonne idée infructueuse ? Il y a une dizaine d'années, le canton de Vaud (Suisse) s'est engagé dans une politique de valorisation des déchets (tri sélectif, recyclage, *etc.*) afin de réduire les pollutions environnementales dues aux incinérateurs. Une taxe de type pollueur-payeur a été mise en place de manière à financer les investissements réalisés pour les déchets domestiques. Dans un premier temps, cette taxe a été calculée sur le volume des déchets. Du coup, les citoyens les ont compressés. Deuxième étape : la taxe a été établie sur la base du poids de ces déchets, . . . les ménages ont alors massivement brûlé leurs déchets dans leur jardin ! Résultat : les niveaux de dioxines et de furane mesurés quelques années plus tard dans le sol ont été plus élevés que ceux mesurés avant la mise en place de cette politique.

François Mancebo, université de Reims, laboratoire Pacte, membre de l'équipe STEEP

Évolution de la population - scénario BAU



Évolution de la distribution des emplois - scénario BAU



© BENOÎT LEFÈVRE

Ces images montrent le résultat de simulations réalisées par Benoît Lefèvre[7] sur la base d'un modèle couplant transport et usage des sols pour la ville de Bangalore (Inde). En (a) et (b) : les évolutions de la répartition spatiale de la population et de l'emploi d'ici à vingt ans sans aucune politique particulière (Business As Usual, ou BAU). La population part vers la périphérie de la ville, la localisation des nouveaux emplois restant homogène. En (c) et (d) : les évolutions des mêmes paramètres, mais selon un scénario baptisé METRO+, c'est-à-dire avec la mise en place de deux lignes de métro (nord/sud et est/ouest) et d'une politique d'aménagement urbain. On observe alors une concentration des emplois dans la première couronne et au sud de la deuxième. La population se concentre dans les zones d'emploi et dans la première couronne, où le prix du foncier est moins élevé qu'au centre ville mais qui est desservie par le métro.

suffiraient à réduire leur consommation globale d'électricité. En fait, en toute bonne conscience, ils ont augmenté leurs puissance et durée d'éclairage, mais sans modifier d'un iota leur mode de consommation d'énergie de manière générale.

Ces quelques remarques mettent en lumière un point décisif à nos yeux : la question de l'arbitrage. Car non seulement les problèmes doivent être abordés dans le cadre d'une démarche systémique, mais il n'y a aucune raison, aucune loi établie, qui permettrait de postuler que des objectifs purement environnementaux soient compatibles avec des objectifs de progrès social ou bien de croissance économique. Aux politiques donc la lourde tâche de trouver un équilibre entre ces différentes dimensions, et de déterminer quel niveau de dégradation ils sont prêts à concéder et à faire admettre par la société civile sur l'une ou l'autre de ces dimensions ou sur les trois.

Les outils numériques d'aide à la décision que nous allons développer visent précisément à leur donner des moyens pour anticiper et évaluer les conséquences de tel ou tel choix, par exemple le choix d'une taxe carbone, de l'installation d'un parc éolien, etc. De surcroît, il serait contre-productif de passer d'un état à un autre sans élaborer des politiques de transition : on imagine mal le passage brutal d'un état où la circulation automobile est autorisée en ville à un état où seuls les vélos pourraient rouler. Cela suppose donc de faire en sorte que ces transitions soient elles aussi modélisables par nos outils.

Quels types d'outils mettre au point pour analyser et visualiser des systèmes aussi complexes, tout en anticipant les rétro-actions et en comprenant les dynamiques en jeu ? On en distingue deux grandes catégories : ceux fondés sur des techniques de simulation et ceux s'appuyant sur des méthodes d'optimisation. Les premiers visent à prédire le comportement d'un tel système en réaction aux choix politiques envisagés et à des modifications de paramètres géophysiques comme le réchauffement climatique, biologiques telle la réduction de la biodiversité, économiques comme une crise financière, *etc*. Ce sont des outils de prospective. Par exemple, avant la construction d'un axe périphérique autour d'une ville, un outil de simulation permettrait d'estimer les impacts économiques, sociaux et environnementaux engendrés par les rétroactions liées à l'amplification de l'étalement urbain.

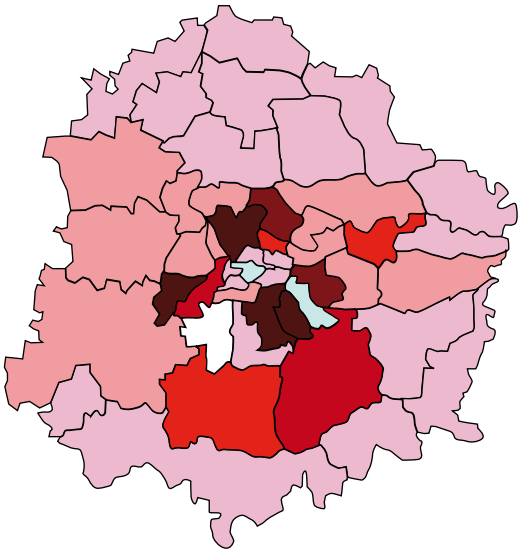
Quant aux méthodes d'optimisation, leur but est d'améliorer l'« efficacité » des choix. Elles permettent en effet de déterminer par des méthodes numériques la suite de décisions propre à minimiser un coût ; qu'il soit économique, environnemental ou social. Supposons par exemple qu'une collectivité locale veuille prendre des mesures pour respecter ses engagements en matière d'émissions de CO_2, mais de telle sorte que ces mesures soient acceptables par la société civile (notamment en termes de dépenses par foyer). L'idée est d'évaluer les mesures incitatives nécessaires (pour des travaux d'isolation ou de modernisation des systèmes de chauffage, en faveur des transports en commun, etc.) qui soient à la fois efficaces et de coût minimal. Dans ce cas, la fonction à minimiser est le coût, et les contraintes sont les émissions de CO_2, la rationalité et l'acceptabilité.

Notre priorité est l'échelle locale, du bassin d'emploi d'une ville à la région, l'échelle régionale nous semblant la plus pertinente. C'est en effet à cette échelle que l'on peut espérer la transition la plus rapide vers un développement durable, sachant que les ressources disponibles diffèrent d'un territoire à l'autre, de même que les comportements culturels : une politique de développement durable ne peut être identique en Rhône-Alpes et en Bretagne. D'autres facteurs nous confortent dans ce choix : l'indépendance croissante des régions ainsi que leur plus grande réactivité et marge de manœuvre par rapport aux politiques nationales. La région est également l'unité territoriale à laquelle se fera une relocalisation partielle des échanges économiques si besoin est, notamment dans les domaines agricole et énergétique. Enfin, alors que les phénomènes au plan mondial ont fait l'objet de nombreuses études[2,3], peu de travaux portent sur le niveau régional.

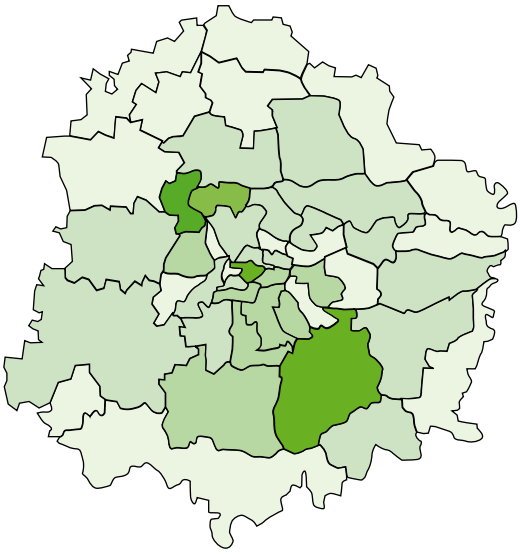
Or dans les prochaines années, les décideurs locaux vont devoir eux aussi prendre des décisions pour respecter les engagements

* L'objectif de SOCLE[3] (pour Soutenabilité, organisation collective locale, énergie, économie et environnement) est de modéliser les interactions entre économie, environnement et société dans le cadre d'une transition vers un développement soutenable aux échelles locales et régionales (voir : http : //socle3.obs.ujf-grenoble.fr/).

Évolution de la population - scénario Metro+



Évolution de la distribution des emplois - scénario Metro+



par exemple pris à Kyoto, lors du Grenelle de l'environnement, etc. Il y a donc urgence. Pour y répondre, nous avons choisi de nous appuyer dans un premier temps sur des modèles déjà opérationnels. Plus précisément, nous allons combiner trois modèles existants[4,5,6] : un modèle couplant le transport et l'usage des sols[7] (voir la figure), un modèle couplant énergie, climat et qualité de l'air, et un modèle permettant de modéliser les services des écosystèmes (pollinisation, stabilité des sols, protection contre les inondations, régulation du climat…). L'idée est de proposer un outil permettant de simuler les principaux leviers d'actions des politiques locales (aménagement et urbanisme, transports, bâtiment) tout en intégrant les impacts sociaux et environnementaux.

Ce programme de travail ne va évidemment pas sans difficultés. Première difficulté : il faut choisir le degré de finesse de la modélisation. D'un côté, il est essentiel de limiter le niveau de complexité des modèles, afin de garantir des temps de calcul raisonnables et la convergence des algorithmes. De l'autre, les modèles doivent être assez fins et détaillés pour être pertinents et réalistes. Il faut également faire des choix sur ce qui doit rester de l'ordre de l'hypothèse (scénarios *a priori*) et sur ce qui doit être modélisé. Par exemple, la demande énergétique peut être soit considérée comme une donnée initiale (scénario relatif à cette demande), soit modélisée de manière à rendre compte des rétroactions entre coût de l'énergie et demande.

Une seconde difficulté résulte du caractère multi-échelle des problèmes posés. Cet aspect découle de la prise en compte simultanée d'acteurs de nature différente et évoluant à des échelles spatiales et temporelles spécifiques. L'enjeu consiste à utiliser des représentations des variables et des données adaptées à l'hétérogénéité spatiale et temporelle des structures et des processus. Par exemple, l'échelle pour traiter des questions d'aménagement d'un quartier est différente de celle à laquelle nous modéliserons certains phénomènes biologiques et plus généralement les services des écosystèmes.

La troisième difficulté concerne la gestion des diverses sortes d'incertitudes. La quantification des incertitudes pour des problèmes de cette complexité est certainement l'un des plus grands défis que nous devons relever. Ces incertitudes apparaissent à plusieurs niveaux : elles vont de l'imprécision des données jusqu'aux incertitudes liées à l'absence de connaissance scientifique sur certains des processus concernés. Or les méthodes actuelles se limitent à donner des résultats prospectifs déterministes, sans évaluation de la confiance que l'on peut avoir en ces résultats. Notre équipe travaille en particulier sur l'analyse des trois types d'incertitudes les plus importants : celles liées au choix des scénarios, celles dues aux erreurs contenues dans les données et celles générées par le modèle.

Pour réaliser ce travail, nous nous sommes constitués en équipe pluridisciplinaire, avec notamment un urbaniste géographe et chercheur compétent en physique et géophysique. Nous allons en outre nous appuyer sur le réseau régional SOCLE[3]* qui regroupe toutes les compétences scientifiques nécessaires pour un tel projet : climatologie, sciences politiques, économie, énergie, biologie, sciences humaines et sociales… Notre objectif est bien sûr de concevoir des outils et des méthodologies les plus génériques possible. Mais dans un premier temps, nous testerons nos idées sur la zone du Schéma de cohérence territoriale (SCOT) de la région urbaine Grenobloise, complétée par les zones naturelles qui lui sont directement connectées, et sur la région Rhône-Alpes. Nous travaillerons en étroite collaboration avec les agences locales de l'énergie, de l'urbanisme etc. Notre modèle systémique devrait être opérationnel d'ici à trois ans.

Emmanuel Prados, chercheur Inria, est responsable de l'équipe STEEP et membre du Laboratoire Jean-Kuntzmann. Il s'est spécialisé dans l'application des mathématiques et de l'informatique à la modélisation de la transition vers un développement durable à l'échelle locale.

Élise Arnaud est maître de conférences à l'université Joseph-Fourier de Grenoble. Elle est membre de l'équipe STEEP et du Laboratoire Jean-Kuntzmann.

(1) F. Mancebo, Le développement durable en questions, *Cybergeo, European Journal of Geography, n° 404,* rubrique « épistémologie, histoire, didactique », 2007.

(2) D. H. Meadows *et al.*, *Limits to Growth : The 30-Year Update,* Chelsea Green, 2004.

(3) Lester R. Brown, *Le plan B : pour un pacte écologique mondial,* Calmann-Lévy, 2007.

(4) M. Wegener. *Overview of land use transport models. Handbook of transport geography and spatial systems, vol. 5*, 2004.

(5) Ad J. Seebregts *et al. Energy/ Environmental Modelling with the MARKAL Family of Models, ECN-RX-01-039, Energy research Centre of the Netherlands (ECN)*, Petten, 2001.

(6) R. Boumans *et al.* « Modeling the Dynamics of the Integrated Earth System and the Value of Global Ecosystem Services using the GUMBO Model », *Ecological Economics, 41 (3)*, pp.529-560, 2002.

(7) B. Lefèvre, La Soutenabilité environnementale des transports urbains dans les villes du Sud Le couple « transport – usage des sols » au cœur des dynamiques urbaines, doctorat économie et finance, CERNA - Centre d'économie industrielle, ENSMP, 2007.

INRIA