



HAL
open science

Futurs possibles d'un système d'acteurs : formalisation et génération automatique de scénarios

Camille Blanchard, Claire Saurel, Caroline Tessier

► To cite this version:

Camille Blanchard, Claire Saurel, Caroline Tessier. Futurs possibles d'un système d'acteurs : formalisation et génération automatique de scénarios. 20èmes Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle, Jun 2022, Saint-Etienne, France. hal-03765394

HAL Id: hal-03765394

<https://hal.science/hal-03765394>

Submitted on 31 Aug 2022

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.

Futurs possibles d'un système d'acteurs : formalisation et génération automatique de scénarios

C. Blanchard¹, C.Saurel¹, C.Tessier¹

¹ ONERA/DTIS, Université de Toulouse, France

camille.blanchard@onera.fr

Résumé

L'étude des futurs possibles d'un système d'acteurs par la génération de scénarios est un moyen d'anticipation et d'aide à la décision pour les organisations. Les méthodes existantes, le plus souvent participatives, produisent en général un nombre restreint de scénarios. Une génération systématique et automatisée de scénarios permettrait à la fois d'élargir l'ensemble des résultats produits et de limiter les biais inhérents à la réflexion des participants. Nous présentons ici un modèle formel permettant de définir un système et ses composantes (acteurs, principes moraux, variables...) et de générer et d'analyser des scénarios, en particulier lorsque des conflits se produisent pour un acteur (conflit moral) ou entre plusieurs acteurs (conflit logique).

Mots-clés

Aide à la décision, modélisation formelle des connaissances et du raisonnement, principes moraux, scénarios prospectifs, avenir du transport aérien

Abstract

Scenarios-based future studies on a system of actors are anticipatory and decision aid means for organizations. Existing methods, mostly participatory ones, generally produce a limited number of scenarios. A systematic and automated generation of scenarios could both enlarge the set of the results and limit the biases due to participants thoughts. This paper focuses on a formal model aiming at defining a system and its components (actors, moral principles, variables, etc.). This allows scenarios to be generated and analysed especially when conflicts occur in an actor (moral conflict) or between several actors (logical conflict).

Keywords

Decision aid, knowledge and reasoning formal modelling, moral principles, prospective scenarios, future of aviation

1 Introduction

Un système, qu'il soit industriel, économique, qu'il représente une institution ou une population, est l'objet d'enjeux complexes et les acteurs qui le composent rencontrent de nombreuses incertitudes qui peuvent freiner leurs prises de décision. La compréhension d'un système et l'exploration de ses futurs possibles sont essentielles pour envisager les changements qui s'imposent.

Pour limiter les biais liés aux calculs de probabilités et accorder une plus grande importance aux changements radicaux possibles dans l'évolution d'un système, les méthodes de scénarios sont les plus indiquées.

Dans l'abondante littérature de ce domaine (voir section 2.2), on retrouve en majorité des méthodes s'appuyant sur des modèles quantitatifs ou sur des analyses qualitatives en groupe de travail. Cependant, la formalisation des différentes composantes de ces méthodes pourrait permettre de faciliter la génération d'un nombre plus important de scénarios : en effet, le nombre de scénarios produits est limité par les biais inhérents aux domaines d'intérêt des participants aux réflexions, par leurs opinions ainsi que par la difficulté de traiter manuellement un problème très combinatoire.

L'objectif de cet article est donc de proposer une méthodologie et des outils formels génériques de construction et d'analyse de scénarios afin de systématiser la réflexion préalable à la prise de décision au sein d'un système d'acteurs, notamment par la prise en compte de principes moraux.

Après avoir donné, dans la section 2, un aperçu des méthodes de scénarios et des définitions existantes pour la notion de système, nous proposons un modèle formel permettant de générer des scénarios dans la section 3. Dans un premier temps nous définirons la notion de système d'acteurs puis nous formaliserons les éléments dynamiques de ce système. Nous présenterons ensuite la formalisation de la définition de scénarios pour permettre leur génération systématique. La mise en œuvre de ce modèle est ensuite présentée en section 4.

2 État de l'art

K. Muiderman [16] classe les approches pour envisager les différents futurs d'un système en quatre catégories ¹ : la prédiction, la génération de scénarios, les approches « expérimentales » et enfin les approches « critiques ». Les approches « expérimentales » sont fondées sur une vision du futur collective sur l'expérience et la création ; elles ne revendiquent aucune méthodologie formelle. Les approches « critiques » interrogent les conséquences sur le présent des études concernant le futur, et notamment les implications politiques potentielles ; elles ne concernent pas la généra-

1. [15] précise que ces catégories peuvent se recouper.

tion de scénarios. Ces deux approches ne feront donc pas l'objet de développement dans cet article.

2.1 La prédiction

Cette approche considère que le futur est en partie connu. On utilise dans ce cas des outils de planification ou des modèles pour déterminer les probabilités d'un certain nombre de futurs jugés intéressants. Ces probabilités reposent notamment sur une analyse du passé.

La planification classique se retrouve majoritairement dans cette catégorie. Elle cherche notamment à optimiser le chemin permettant d'atteindre un objectif donné, le plus souvent en minimisant les risques. Elle ne vise pas en général à élargir la réflexion pour considérer les changements.

2.2 Méthodes de scénarios

Cette approche est davantage fondée sur l'exploration et le fait de pouvoir répondre à l'incertitude qu'est le futur en se préparant à différentes éventualités. On explore ces futurs possibles souvent grâce à des méthodes participatives mais aussi par des modèles quantitatifs. Les méthodes de génération de scénarios [1] constituent la majorité des techniques adoptées.

«Un scénario est un outil, utilisé par la réflexion prospective, pour appréhender le futur. Il décrit une image d'une société dans un espace géographique et dans un avenir donnés et des chemins liant l'état actuel de la société à celui décrit par l'image.» [4]

Définir la notion de scénario n'est pas aisé au vu de l'abondance des méthodes et interprétations existantes. Les nombreuses tentatives de définitions sont à l'origine de l'utilisation du terme « chaos méthodologique » dans la littérature de ce domaine [18]. Toutefois, [19] en propose une définition qui correspond principalement au point de vue proposé par l'école "Intuitive Logic" : un scénario est orienté vers le futur sur un sujet global. Il comprend une description rédigée, est possible voire plausible et fait partie d'un ensemble de scénarios différents générés systématiquement.

Les trois méthodes de scénarios principales sont :

- l'école de l'Intuitive Logic ;
- l'école "Probabilistic Modified Trend" ;
- l'école française de La Prospective.

2.2.1 Les méthodes américaines

La méthode *Intuitive Logic* repose essentiellement sur des travaux participatifs en groupe de travail et une analyse qualitative du système. Un groupe de travail est composé des membres d'une organisation à l'initiative de l'étude et d'une équipe d'animation qualifiée. On y retrouve parfois également des participants experts extérieurs à cette organisation. Son utilisation dans le milieu industriel a été plébiscitée notamment par le groupe Shell [22].

La méthode *Probabilistic Modified Trend* est davantage fondée sur des modèles quantitatifs. L'extrapolation des tendances est utilisée puis modifiée par l'ajout de facteurs qualitatifs et d'éléments de rupture moins probables pour

enrichir l'analyse [12].

On retrouve dans ces deux méthodes l'utilisation le plus souvent implicite de variables clés sur lesquelles se fondent les scénarios, mais pas de délimitation ni de définition du système d'intérêt.

2.2.2 La Prospective

Il s'agit d'une démarche pluridisciplinaire de discussion pour dégager les enjeux majeurs d'un système (un secteur d'activité par exemple). C'est aussi une stratégie proactive grâce à laquelle un acteur peut envisager différents futurs possibles qui mèneront à un objectif préalablement défini (voir par exemple [17]).

L'école de la Prospective [2], première méthode de génération de scénarios française, propose la définition suivante de système : « *Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but* » [10]. La représentation de ce système passe par la détermination de variables, d'acteurs et d'objectifs. Les éléments du système à étudier en priorité sont qualifiés de variables clés. Les acteurs sont « *ceux qui jouent un rôle important dans le système par l'intermédiaire des variables qui caractérisent leurs projets et qu'ils contrôlent plus ou moins* » [11]. On peut donc leur attribuer des stratégies d'action sur les variables, en particulier les variables clés qui sont le reflet de leurs objectifs, et ainsi mettre en lumière des jeux de pouvoir au sein du système. À cette approche sont associés des outils tels que MICMAC (MultiplIcation Matricielle Appliquée à un classement) ou MACTOR (Matrice des alliances, Conflits, Tactiques et Objectifs entre acteurs et Recommandations associées)² pour accompagner un acteur dans sa démarche d'analyse du système.

L'analyse morphologique [14] permet de faire une analyse détaillée du système en le décomposant en dimensions. Contrairement aux autres méthodes de génération de scénarios, elle permet de prendre en compte plus facilement des éléments de rupture. Proposée à l'origine par le physicien Fritz Zwicky (1898-1974), son objectif est d'accorder une attention particulière à la formulation du problème : définition des limites du système et des questions auxquelles on veut répondre. Ce problème est exprimé en paramètres ou variables. Certaines parties du système sont ainsi précisées avec des variables plus détaillées. Des variables internes et des variables externes au système sont aussi distinguées.

Le recensement des différents éléments est fait lors de sessions de travail réalisé « à la main », en groupes composés de membres de l'organisation à l'origine de l'étude, d'animateurs formés à la prospective et parfois d'experts du domaine. Bien que clairement structurée, la méthode nécessite de limiter le nombre de variables prises en compte. En effet, un trop grand nombre d'acteurs ou de variables rend le travail de groupe long, complexe et fastidieux.

2. Ces outils, qui font partie de la suite Scenaring Tools, ont été développés par le LIRSA-CNAM (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherches en Sciences de l'Action) anciennement LIPSOR.

2.3 Critères de définition d'une méthode de génération de scénarios

La typologie proposée par [6] présente des critères permettant de classer les différentes méthodes fondées sur la génération de scénarios. Nous retenons ci-dessous uniquement les critères que nous jugeons pertinents dans le cadre de notre travail. Cela nous permettra de préciser la nature des scénarios que nous voulons générer.

- le critère *Value/Reality* : évalue la « désirabilité » des scénarios :
 - scénario descriptif : chemin conduisant à un futur possible non fixé au préalable (hypothétique si exploratoire ; plausible si la notion de probabilité entre en jeu) ;
 - scénario normatif : chemin permettant d'atteindre un objectif spécifique (actif s'il simule une stratégie d'actions ou passif s'il permet d'observer le déroulement potentiel d'un processus ou l'évolution de normes.
- le point de départ du scénario [9] :
 - *forward-casting* lorsque le point de départ est le présent (*likely-futures* : scénarios tendanciels ou *what-if scenario* : scénarios exploratoires) ;
 - *backcasting* lorsque le raisonnement est abductif (à partir d'un idéal ou d'une situation redoutée).
- l'horizon temporel des scénarios ;
- la façon de prendre en compte le temps : temps continu ou temps discret ;
- l'échelle des variables : internes ou externes au système ;
- le nombre de scénarios : inférieur ou supérieur à deux ;
- les participants à l'étude : les membres de l'organisation à l'initiative de l'étude, les actionnaires et décideurs (appelés dans la suite les « utilisateurs ») ;
- le contrôle de l'organisation à l'initiative de l'étude sur son environnement (interne ou externe au système, actrice ou spectatrice, etc.). Ce critère doit notamment permettre de délimiter le système d'étude.

2.4 Positionnement de notre approche

On travaillera dans le cas de notre modèle sur des scénarios *descriptifs*, *hypothétiques* pour limiter les biais venant de l'utilisation de probabilités. Cependant, l'objectif d'aide à la décision pourra entraîner la simulation d'actions précises ce qui placera le travail dans une perspective *normative* et *active*. La génération de scénarios exploratoires nécessite de se positionner dans une logique de *forward-casting* mais ne doit pas exclure de travailler plus en détail sur un futur choisi par avance.

Concernant l'horizon temporel de nos scénarios, ils seront limités par des critères d'arrêt définis dans la section 3.5. Le temps ne sera pas modélisé explicitement, les scénarios étant construits comme une suite d'états et d'événements formant l'histoire d'un futur possible.

Enfin, si dans la typologie de [6] la distinction est faite entre un nombre de scénarios générés inférieur ou supérieur à deux, nous ferons ici la distinction entre la majorité des méthodes qui aboutissent à un nombre de scénarios construits « à la main », compris entre quatre et six et la génération « massive » de scénarios qui a été proposée par [7]. Comme dans [7] nous souhaitons générer un grand nombre de scénarios. Toutefois, nous nous démarquons de ce travail par le fait que la nature et l'analyse de ces scénarios ne seront pas quantitatives.

Remarque

Considérer un système d'acteurs pourrait appeler une modélisation par une approche multiagent [20]. Or dans notre cadre, la génération de scénarios se distingue de la résolution de problème multiagent par les points suivants :

- l'absence d'interactions entre acteurs ;
- l'absence d'intentions et de buts pour les acteurs ;
- l'absence de résolutions des conflits : nous considérons en effet qu'il est plus intéressant pour l'utilisateur de relever et caractériser les conflits que de les résoudre (voir section 3.4).

3 Modélisation

3.1 Objectifs

L'objectif de ce travail consiste à proposer une méthodologie et un outil générique de construction et d'analyse de scénarios afin de systématiser la réflexion préalable à la prise de décision d'un acteur du système, utilisateur de l'outil.

L'utilisation d'un langage formel mathématique permet d'exprimer les connaissances requises en limitant certaines ambiguïtés, de systématiser la génération de scénarios et de les calculer automatiquement.

Un système d'acteurs est défini à partir des différentes composantes utilisées en prospective, à savoir les acteurs et les variables. En outre sont ajoutés les principes moraux³ auxquels adhèrent les acteurs, ce qui n'est généralement pas proposé avec les méthodes de scénarios existantes.

Dans la suite, nous illustrons la démarche grâce à un exemple fondé sur des questionnements liés au secteur du transport aérien.

3.2 Définition du système

Définition 1 (Principe - Ensemble Π) Π est un ensemble d'éléments π appelés principes.

Exemple

$$\Pi = \{CreationRichesse, SatisfactionPopulation, ProtectionEnvironnement\}$$

3. « Les valeurs ont un rôle important en tant qu'idéaux motivant l'orientation des mesures politiques et des normes juridiques. Alors que l'ensemble des valeurs [...] inspirent des comportements souhaitables et constituent les fondements des principes, les principes quant à eux explicitent les valeurs de manière plus concrète, de façon à faciliter l'application de ces dernières dans les déclarations et actions politiques. » [21]

Définition 2 (Variable - Ensemble \mathcal{V}) \mathcal{V} est un ensemble d'éléments v appelés variables prenant chacune leurs valeurs dans un ensemble discret noté \mathcal{W}_v . Ces valeurs sont instanciées dans l'état courant du système.

On note $\mathcal{W}_{\mathcal{V}} = \bigcup_{v \in \mathcal{V}} \mathcal{W}_v$.

On fait ici les hypothèses simplificatrices suivantes :

- il n'y a pas de variable sur laquelle aucun acteur ne peut influencer ;
- les variables sont indépendantes entre elles : pour que la valeur d'une variable change, il faut l'action directe d'un acteur.

Exemple

$\mathcal{V} = \{OffreAvion, TaxeGouv, OffreKero\}$

Avec

$\mathcal{W}_{OffreAvion} = \{Faible, Stable, Elevee\}$

$\mathcal{W}_{TaxeGouv} = \{Oui, Non\}$

$\mathcal{W}_{OffreKero} = \{Faible, Stable, Elevee\}$

Définition 3 (Lois du domaine - Ensemble \mathcal{C}) Expression des contraintes sur le système.

Parmi les lois du domaine figurent des couples valeur/variable qui sont incompatibles entre eux : la fonction *incompatible* renvoie « Vrai » si un ensemble de couples (variable, valeur) sont incompatibles.

Définition 4

$$incompatible : P(\mathcal{V} \times \mathcal{W}_{\mathcal{V}}) \rightarrow \{Vrai, Faux\} \quad (1)$$

avec P l'ensemble des parties de $\mathcal{V} \times \mathcal{W}_{\mathcal{V}}$

Exemple

$$\mathcal{C} = \{incompatible((OffreKero, Faible), (OffreAvion, Elevee)) = Vrai\}$$

Définition 5 (Acteur - Ensemble \mathcal{A}) Un acteur a est défini par son identifiant i_a et par l'ensemble \mathcal{V}_a des variables sur lesquelles il peut influencer (notamment par des prises de décision).

$$\forall a \in \mathcal{A}, a = \langle i_a, \mathcal{V}_a \rangle \quad (2)$$

On distingue les acteurs intérieurs et les acteurs extérieurs au système.

Définition 6 (Acteur extérieur - Ensemble \mathcal{A}_X) Un acteur extérieur peut créer des perturbations en agissant sur des variables du système.

Exemple $\mathcal{A}_X = \{SARS-CoV-2\}$

Définition 7 (Acteur intérieur - Ensemble \mathcal{A}_I) Un acteur intérieur a_I est un acteur qui fait partie du système. En plus de pouvoir réaliser des actions, il a la capacité de prendre des décisions.

Exemple

$$\mathcal{A}_I = \{VolFacile, GouvPaysO, SuperKero\}$$

avec *VolFacile* une compagnie aérienne, *GouvPaysO* le gouvernement des Pays-O et *SuperKero* un fournisseur de carburant conventionnel type kérosène.

On fait ici les hypothèses simplificatrices suivantes :

- un acteur est limité à une décision par variable dans chaque état du système ;
- il connaît l'état de toutes les variables sur lesquelles il peut agir ;
- dans chaque état, il doit prendre des décisions sur toutes les variables sur lesquelles il peut influencer.

Un acteur intérieur est caractérisé avec les fonctions suivantes :

Définition 8 La fonction *position* indique la position d'un acteur intérieur a_I sur un des principes du système dans un état donné e (voir définition 12). L'acteur peut adhérer (+), être neutre (=) ou être défavorable (−) vis-à-vis d'un principe.

$$position_{a,e} : \mathbf{\Pi} \rightarrow \{+, =, -\} \quad (3)$$

L'ensemble des positions des acteurs intérieurs sur les principes, données par la fonction *position* dans un état e , est noté \mathcal{P}_e et l'ensemble des positions d'un unique acteur a dans un état e est noté $\mathcal{P}_{a,e}$. Tous les acteurs intérieurs doivent avoir une position (même neutre) sur chacun des principes.

Définition 9 La fonction *opinion* renvoie l'opinion affichée d'un acteur intérieur a sur la manière dont la valeur d'une variable se positionne vis-à-vis d'un principe dans un état donné. L'acteur peut estimer que la valeur de la variable va dans le sens du principe (1), qu'elle n'est pas liée au principe (0) ou qu'elle est en contradiction avec le principe (−1).

$$opinion_{a,e} : \mathcal{V} \times \mathcal{W}_{\mathcal{V}} \times \mathbf{\Pi} \rightarrow \{1, 0, -1\} \quad (4)$$

L'ensemble des opinions affichées des acteurs intérieurs, générées par les fonctions *opinion_a* dans un état e , est noté \mathcal{O}_e et l'ensemble des opinions d'un unique acteur a dans un état e est noté $\mathcal{O}_{a,e}$.

Remarque

Un acteur ne peut pas prendre de décisions à l'encontre des principes auxquels il est favorable. Il peut en revanche changer ses positions et ses opinions en cours de scénario.

Exemple

Soit e un état donné,

$$position_{GouvPaysO,e}(SatisfactionPopulation) = +$$

$$opinion_{GouvPaysO,e}((TaxeGouv, Oui), SatisfactionPopulation) = -1$$

Dans l'état e , le gouvernement *GouvPaysO* est favorable au principe *SatisfactionPopulation* et considère que si la valeur de la variable *TaxeGouv* est *Oui*, cette dernière ne respecte pas le principe *SatisfactionPopulation*.

Cas particulier de l'utilisateur

On suppose que l'acteur qui est à l'initiative de l'étude – l'utilisateur – peut prendre des décisions qui vont à l'encontre de ses propres principes. En effet, l'utilisateur, en plus d'agir selon des principes, peut être guidé par des objectifs (voir définition 10 ci-dessous) :

Définition 10 (Objectif $\mathcal{G}_u \subset (\mathcal{V} \times \mathcal{W}_\mathcal{V})$) *Ensemble fixé par l'utilisateur des instanciations de variables qu'il souhaite obtenir.*

On peut donc, avec ces éléments, poser la définition suivante du système :

Définition 11 (Système Σ) *Un système est un quadruplet composé d'un ensemble \mathcal{A}_I d'acteurs intérieurs, d'un ensemble Π de principes, d'un ensemble \mathcal{V} de variables et d'un ensemble de lois du domaine \mathcal{C} . Il est caractérisé par son état courant e .*

$$\Sigma = \langle \mathcal{A}_I, \Pi, \mathcal{V}, \mathcal{C} \rangle \quad (5)$$

On fait ici les hypothèses simplificatrices suivantes :

- le système est fermé⁴ ;
- il n'y a pas de dynamique propre au système : une valeur de variable ne change que sous l'action d'un acteur (voir définition 15).

Un état du système est défini formellement de la manière suivante :

Définition 12 (État du système - Ensemble \mathbf{E}) *Un état du système, noté e , est composé d'un ensemble \mathcal{P}_e des positions des acteurs intérieurs sur les principes, d'un ensemble \mathcal{O}_e des opinions des acteurs ainsi que d'un ensemble \mathcal{I}_e des variables instanciées. Une variable ne peut pas avoir deux valeurs différentes dans un état donné.*

$$e = \langle \mathcal{P}_e, \mathcal{O}_e, \mathcal{I}_e \rangle \quad (6)$$

Avec

$$\mathcal{I}_e = \{ \mathcal{I}_e \subset (\mathcal{V} \times \mathcal{W}_\mathcal{V}), (v, w_v) \in \mathcal{I}_e \text{ et } (v, w'_v) \in \mathcal{I}_e, w_v \neq w'_v \Rightarrow \text{incompatible}_e((v, w_v), (v, w'_v)) = \text{Vrai} \} \quad (7)$$

L'état initial du système est donné. Comme dans tous les états, toutes les variables y sont instanciées.

Exemple

Soit e_0 l'état initial donné,

$$\mathcal{I}_{e_0} = \{ (\text{TaxeGouv}, \text{Non}), (\text{OffreKero}, \text{Stable}), (\text{OffreAvion}, \text{Stable}) \}$$

3.3 Décision et action

Les acteurs intérieurs au système peuvent décider de modifier (ou non) la valeur des variables sur lesquelles ils peuvent influencer.

4. Les composantes du système sont figées.

Définition 13 (Décision - Ensemble \mathcal{D}) *Une décision $d_{a,v,e}$ est le choix d'un acteur intérieur a_i de faire quelque chose vis-à-vis d'une variable v dans un état e .*

Une décision peut être :

- une volonté d'action (changer ou maintenir la valeur de la variable) ;
- ne rien faire vis-à-vis de cette variable (c'est-à-dire laisser faire les autres acteurs). Dans le cas où un acteur est le seul à pouvoir agir sur une variable, la décision de ne rien faire équivaut à la décision de maintenir l'état de la variable.

On note \mathcal{D}_e l'ensemble des décisions envisagées dans l'état e , $\mathcal{D}_{a,e}$, l'ensemble des décisions envisagées par l'acteur a dans l'état e et $\mathcal{D}_{a,v,e}$, l'ensemble des décisions envisagées par l'acteur a sur une variable v dans l'état e .

Exemple

$$\mathcal{D}_{\text{Gouv Pays O, Taxe Gouv}, e_0} = \{ \text{InstaurerTaxe}, \text{NeRienFaireTaxe} \}$$

Définition 14 *La fonction h exprime le résultat de la décision $d_{a,v,e}$ de changer la valeur w_v d'une variable v en la valeur w'_v .*

$$h : \mathcal{D} \times \mathcal{V} \times \mathcal{W}_\mathcal{V} \rightarrow \mathcal{V} \times \mathcal{W}_\mathcal{V} \quad (8)$$

Définition 15 (Action - Ensemble \mathcal{A}_c) *Une action est la réalisation d'une décision. Elle permet de passer d'une instanciación (v, w_v) à une instanciación (v, w'_v) .*

Les actions des acteurs viennent modifier l'état du système.

Définition 16 (Événement - Ensemble \mathcal{E}) *Un événement est une modification de l'état du système par un changement de valeur d'une ou de plusieurs variables suite à une action, ou bien suite à un changement de la position des acteurs sur les principes ou de leur opinion affichée sur la valeurs de variables.*

3.4 Conflits

Suite à leurs décisions dans un état donné, des acteurs peuvent se retrouver dans des situations de conflit, conflit entre acteurs (conflit logique) ou conflit pour un acteur (conflit moral).

3.4.1 Conflit logique

Le conflit logique intervient dans deux cas :

- des acteurs cherchent à instancier une même variable avec des valeurs différentes ;
- des acteurs cherchent à instancier des variables d'une manière définie comme incompatible dans les lois du domaine du système.

Définition 17 (Conflit logique) :

$$\forall e, \forall \mathcal{D}_e, \text{conflitlogique}(\mathcal{D}_e, e) = \text{vrai} \iff \left[\begin{array}{l} \exists (v^1, w_v^1), \dots, (v^n, w_v^n) \in \mathcal{H}_e, \exists 0 < n \leq |\mathcal{V}| \\ \text{incompatible}((v^1, w_v^1), \dots, (v^n, w_v^n)) = \text{Vrai} \end{array} \right] \quad (9)$$

avec \mathcal{H}_e l'état partiel du système résultant des décisions des acteurs dans l'état e .

$$\mathcal{H}_e = \{h(d_{a,v,e}, v, w_v), v \in \mathcal{V}, w_v \in \mathcal{W}_v, d_{a,v,e} \in \mathcal{D}_e\} \quad (10)$$

Exemple Considérons la décision de la compagnie *VolFacile* d'*AugmenterOffreAvion* dans l'état initial e_0 où l'*OffreAvion* est *Stable* :

$$d_{VolFacile,OffreAvion,e_0} = AugmenterOffreAvion$$

$$h(AugmenterOffreAvion, OffreAvion, Stable) = (OffreAvion, Elevee)$$

Si l'acteur *VolFacile* prend cette décision, la valeur de la variable *OffreAvion* passera de *Stable* à *Elevee*.

Considérons la décision du fournisseur *SuperKero* dans l'état initial où l'*OffreKero* est *Stable* :

$$d_{SuperKero,OffreKero,e_0} = DiminuerOffreKero$$

$$h(DiminuerOffreKero, OffreKero, Stable) = (OffreKero, Faible)$$

Si l'acteur *SuperKero* prend cette décision, la valeur de la variable *OffreKero* passera de *Stable* à *Faible*

La loi du domaine :

$$C = \{incompatible((OffreKero, Faible), (OffreAvion, Elevee)) = Vrai\}$$

indique que ces deux couples sont incompatibles, on se trouve dans une situation de conflit logique.

3.4.2 Conflit moral

La définition de conflit moral est fondée sur la définition proposée par [5]. Contrairement au conflit logique, un conflit moral porte sur les principes et les opinions d'un seul acteur.

La fonction *ContrairePrincipe* renvoie le booléen « Vrai » lorsqu'une décision d'un acteur a est contraire aux principes auxquels adhère cet acteur dans un état e :

Définition 18

$$ContrairePrincipe_{a,e} : \mathcal{D}_{a,e} \times \mathbf{\Pi} \rightarrow \{Vrai, Faux\} \quad (11)$$

Le fait qu'une décision d'un acteur soit contraire à un principe est spécifié dans les lois du domaine.

Exemple *ContrairePrincipe*_{GouvPaysO,e₀}(*DesinformerSurRechauffementClimatique*, *Honnetete*) = *Vrai*

L'acteur *GouvPaysO* considère que la décision *DesinformerSurRechauffementClimatique* est contraire au principe *Honnetete* dans l'état initial e_0 .

La fonction *ConsequenceNegative* renvoie le booléen « Vrai » si l'action résultant d'une décision aurait des conséquences négatives pour un acteur a dans un état e .

On entend ici par conséquences un état partiel \mathcal{H}_a dont des instanciations de variables vont à l'encontre d'au moins un principe auquel l'acteur adhère.

Définition 19

$$ConsequenceNegative_{a,e} : \mathcal{D}_{a,v,e} \times \mathcal{P}_{a,e} \times \mathcal{O}_{a,e} \rightarrow \{Vrai, Faux\} \quad (12)$$

Exemple

$$h_1 = h(InstaurerTaxe, TaxeGouv, Non) = (TaxeGouv, Oui)$$

Avec la position et l'opinion spécifiées après la définition 9

$$ConsequenceNegative_{GouvPaysO,e_0}(InstaurerTaxe, +, -1) = Vrai$$

Dans l'état initial e_0 , l'acteur *GouvPaysO* est favorable au principe *SatisfactionPopulation* (+). Or, il a une opinion négative (-1) sur la manière dont il envisage le respect de ce principe par la valeur *Oui* de la variable *TaxeGouv*. La décision d'*InstaurerTaxe* qui instancierait la variable par cette valeur a donc des conséquences négatives.

Un acteur est dans une situation de conflit moral dans un état e lorsque chacune des décisions qu'il pourrait prendre sur une variable est soit contraire à ses principes soit pourrait avoir des conséquences négatives.

Définition 20 (Conflit moral) :

$$\begin{aligned} \text{conflitmoral}(a, \mathcal{P}_{a,e}, \mathcal{O}_{a,e}, e) = Vrai &\iff \\ \exists v \in \mathcal{V}, \forall d_{a,v,e} \in \mathcal{D}_{a,v,e}, \exists \pi \in \mathbf{\Pi}, \text{position}_{a,e}(\pi) = + & \\ \left[\begin{array}{l} \text{ContrairePrincipe}(d_{a,v,e}, \pi) = Vrai \vee \\ \text{ConsequenceNegative}(d_{a,v,e}, \text{position}_{a,e}(\pi), \\ \text{opinion}_{a,e}(h(d_{a,v,e}, v, w_v), \pi)) = Vrai \end{array} \right. & \end{aligned} \quad (13)$$

3.5 Scénario

Un scénario est défini par l'état initial du système e_0 , un état final du système e_f , et un chemin c allant de l'état initial à cet état final.

Définition 21 (Scénario - Ensemble \mathcal{S})

$$\forall s \in \mathcal{S}, s = \langle e_0, e_f, c \rangle \quad (14)$$

avec $e_0, e_f \in \mathbf{E}$ et c le chemin.

c est une liste qui comprend :

- les différents états du système ;
- les événements à l'origine des modifications d'états ;
- des informations telles que : l'impossibilité de transformer une décision en action et la raison de cette impossibilité, les décisions de ne rien faire qui ne modifient pas l'ensemble des variables instanciées d'un état du système ou encore la justification de l'arrêt d'un scénario.

Les critères d'arrêt d'un scénario sont :

- la convergence du scénario vers un état, caractérisée par :

- une stabilisation (deux états successifs identiques);
 - un conflit logique ou un conflit moral;
 - l'atteinte de l'objectif de l'utilisateur;
 - l'atteinte d'un état d'intérêt prédéfini.
- la convergence du scénario vers une boucle limite.

Les acteurs, variables et principes initialement définis ne pouvant pas changer au cours de la génération des scénarios, le nombre de scénarios possibles est fini.

4 Mise en œuvre et analyse

4.1 Algorithme

La génération d'un scénario se fait sous la forme de la génération d'une succession d'états. Le passage d'un état à un autre résulte de l'agrégation des décisions prises par les différents acteurs. En effet, individuellement, les acteurs comparent leurs opinions à la valeur des variables dans l'état courant du système. Les décisions contraires aux principes ou menant à des conséquences négatives sont éliminées. On relève à ce niveau les conflits moraux. On compare ensuite les décisions possibles des acteurs, ce qui peut donner lieu à des conflits logiques. Une fois l'agrégation des décisions restantes terminée, on réalise les actions correspondantes et on obtient un nouvel état du système.

Algorithme Génération d'un scénario

Requiert : données du système, état initial
fonction SCENARIO(données du système, état précédent) :

Pour tout Acteur **Faire**
Pour tout Variable sur laquelle l'acteur peut agir **Faire**
Liste des décisions possibles dans cet état
Éliminer les décisions qui sont contraires aux principes ou qui ont des conséquences négatives
Si Conflit moral (Liste de décisions possibles vide) **alors**
renvoyer Scénario
Sinon
Choix d'une décision possible
Fin si
Fin pour
Choix d'une combinaison de décisions possibles
Fin pour
Agrégation des décisions de tous les acteurs
Si Conflit logique **alors**
Arrêt du scénario
Sinon
Réaliser les actions correspondant aux décisions : état suivant
Appliquer la fonction SCENARIO à l'état suivant
Fin si
renvoyer Scénario
Fin fonction

4.2 Mise en œuvre

Nous avons mis en œuvre ce modèle sous Python v3.8. L'exécution du code se divise en trois étapes :

- la récupération des données du système : elles sont fournies par l'utilisateur et peuvent résulter d'un travail tel qu'une analyse morphologique (voir section 2.2.2);
- la génération des scénarios;
- l'analyse des résultats.

[1, {}, False]
Etat 1 = {'OffreAvion': 'Stable', 'TaxeGouv': 'Non', 'OffreKero': 'Stable'}
[2, {'VolFacile': 'AugmenterOffreAvion', 'GouvPaysO': 'InstaurerTaxe', 'SuperKero': 'AugmenterOffreKero'}, False]
Etat 2 = {'OffreAvion': 'Elevee', 'TaxeGouv': 'Oui', 'OffreKero': 'Elevee'}
[3, {'VolFacile': 'ReduireOffreAvion', 'GouvPaysO': 'LaisserTaxe', 'SuperKero': 'ReduireOffreKero'}, False]
Etat 3 = {'OffreAvion': 'Stable', 'TaxeGouv': 'Oui', 'OffreKero': 'Stable'}
[6, {'VolFacile': 'AugmenterOffreAvion', 'GouvPaysO': 'LaisserTaxe', 'SuperKero': 'NeRienFaireOffreKero'}, False]
Etat 6 = {'OffreAvion': 'Elevee', 'TaxeGouv': 'Oui', 'OffreKero': 'Stable'}
[6, ['logique', ['NeRienFaireOffreEleveeAvion', 'DiminuerOffreKero'], ['VolFacile', 'SuperKero']], True]

FIGURE 1 – Exemple de scénario

Dans cet exemple le scénario est une succession de quatre états et se termine par un conflit logique suite à la décision *NeRienFaireOffreEleveeAvion* de l'acteur *VolFacile* et à la décision *DiminuerOffreKero* de l'acteur *SuperKero*.

La génération automatique des scénarios est produite par récurrence sous forme d'un arbre d'états du système. Nous avons appliqué les critères d'arrêt (voir section 3.5) mais également un critère d'arrêt arbitraire sur la profondeur de l'arbre pour limiter le nombre de scénarios générés. En effet, la complexité du problème est exponentielle – en fonction du nombre de composantes du système – à cause de la présence d'une récurrence dans une boucle *for*.

4.3 Analyse

Ce type de génération peut répondre à deux types de requêtes relatives à un scénario :

- celles qui portent sur la fin du scénario;
Exemples : Quels sont les acteurs le plus à l'origine de conflits? Quelles sont les raisons des conflits? Quels scénarios conduisent à des états prédéfinis? Quels états ne peuvent pas être atteints avec ces données initiales?
- celles qui portent sur le chemin du scénario;
Exemples : À quels principes l'utilisateur doit-il renoncer pour atteindre ses objectifs? Quelles sont les décisions qui ont peu voire pas d'impact sur les changements d'états?

5 Conclusion et perspectives

Nous avons proposé un outil formel permettant de générer automatiquement et systématiquement des scénarios. Cet

outil peut être utilisé pour aider à la prise de décision au sein d'un système d'acteurs comme ceux considérés dans [3], [13], [8]. De plus, la modélisation prend en compte des principes moraux qui guident les décisions des acteurs.

Cet outil devrait permettre de s'affranchir de certaines limites inhérentes aux méthodes manuelles en élargissant la réflexion des parties prenantes grâce à un plus grand nombre de scénarios considérés.

La validation et l'analyse des scénarios est en cours de définition. Nous pourrions faire référence à des critères existants comme ceux proposés dans la définition du paramètre *Validation* de la typologie de Crawford [6] : pertinence, transparence, nouveauté, etc.

En outre, pour analyser de manière pertinente et sans perdre d'information le grand nombre de scénarios générés, on pourrait s'intéresser à la proximité de deux scénarios différents et définir une notion de similarité entre scénarios.

Enfin, un cas d'étude fondé sur le scénario *Stripping Down* de l'EREA [13] est actuellement en cours d'élaboration.

Remerciements

Les autrices remercient Thomas Chaboud, Briec Danet, Isabelle Laplace et Claire Sarrat pour leur participation aux travaux ayant permis l'élaboration de cet article.

Références

- [1] M. Amer, T. U. Daim, and A. Jetter. A review of scenario planning. *Futures*, 46, 2013.
- [2] G. Berger. L'attitude prospective. In P. Durance, editor, *De la prospective. Textes fondamentaux de la prospective française 1955-1966*. L'Harmattan, 2^e édition, 2007.
- [3] R. Berghof, A. Schmitt, J. Middel, C. Eyers, R. Hancock, A. Gruebler, and Hepting M. Constrained Scenarios on Aviation and Emissions 2050. Technical report, European Commission, 2005.
- [4] J.C. Bluet and J. Zemor. Schéma général d'aménagement de la France. In *Travaux et recherches de prospective*. La documentation française, 1971.
- [5] V. Bonnemains. *Formal ethical reasoning and dilemma identification in a human-artificial agent system*. PhD thesis, ONERA-ISAE-SUPAERO, 2019.
- [6] M.M. Crawford. A comprehensive scenario intervention typology. *Technological forecasting and social change*, 149, 2019.
- [7] P.K. Davis, S.C. Bankes, and M. Egner. Enhancing strategic planning with massive scenario generation. Technical report, The RAND Corporation, National security research division, 2007.
- [8] Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Transition(s) 2050 Choisir maintenant-Agir pour le climat. Technical report, novembre 2021.
- [9] G. Ducot and G.J. Lubben. A typology for scenarios. *Futures*, 12, 1980.
- [10] M. Godet. *Manuel de prospective stratégique*, volume 1. Dunod, 2007.
- [11] M. Godet. *Manuel de prospective stratégique*, volume 2. Dunod, 2007.
- [12] T.J. Gordon. Trend impact analysis. In *Futures Research Methodology*, pages 1–19.
- [13] European Research Establishments in Aeronautics. EREA Vision Study - The Future of Aviation in 2050. Technical report, December 2020.
- [14] I. Johansen. Scenario modelling with morphological analysis. *Technological forecasting and social change*, 126, 2018.
- [15] A.C. Mangnus, J. Oomen, J.M. Vervoort, and M.A. Hajer. Futures literacy and the diversity of the future. *Futures*, 132, 2021.
- [16] K. Muiderman, J. M. Vervoort, A. Gupta, and F. Biermann. Identifying four approaches to anticipatory climate governance : Varying conceptions of the future and their implications for the present. *Wiley Interdisciplinary Reviews : Climate Change*, 11(6), 2020.
- [17] Association NégaWatt. La transition énergétique au cœur d'une transition sociétale. Technical report, octobre 2021.
- [18] M.J. Spaniol and N.J. Rowland. The scenario planning paradox. *Futures*, 95, 2018.
- [19] M.J. Spaniol and N.J. Rowland. Defining scenario. *Futures foresight science*, 1(1), 2019.
- [20] J-P. Treuil, A. Drogoul, and J-D. Zucker. *Modélisation et simulation à base d'agents*. Dunod, 2008.
- [21] UNESCO. Recommandation sur l'éthique de l'Intelligence Artificielle, 2021.
- [22] P. Wack. Scenarios : Uncharted waters ahead. *Harvard Business Review*, 85516, 1985.