
Compte-rendu d'une recherche interdisciplinaire entre sociologues et informaticiens : de la sociologie de l'action organisée au logiciel *SocLab*

Christophe Sibertin-Blanc^{*,***} — Françoise Adreit^{**,***} — Paul
Chapron ^{*,***} — Joseph El-Gemayel ^{*,***} — Matthias
Mailliard^{*,***} — Pascal Roggero ^{*,****} — Claude Vautier ^{*,****}

* Université Toulouse 1 - capitole

2, rue du Doyen Gabriel Marty, 31042 Toulouse cedex 9

** Université de Toulouse Le Mirail

5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse Cedex 9

*** IRIT/SMAC

**** LEREPS

{sibertin, paul.chapron, joseph.el-gemayel, pascal.roggero, claude.vautier}@univ-
tlse1.fr, adreit@univ-tlse2.fr, matthias.mailliard@gmail.com

RÉSUMÉ. Cet article rend compte d'une collaboration entre des informaticiens et des sociologues dans le cadre de la formalisation d'une théorie sociologique bien éprouvée, la sociologie de l'action organisée. Après une brève introduction à cette théorie, nous présentons la formalisation que nous en proposons et illustrons sa mise en œuvre en sociologie et en informatique. Les sections suivantes traitent des conditions de validité des résultats de ce projet, de ses retombées scientifiques et des conditions d'une collaboration interdisciplinaire entre sociologues et informaticiens.

ABSTRACT.

MOTS-CLÉS: *interdisciplinarité, organisation, système complexe, sociologie de l'action organisée, système multi-agents, modélisation, formalisation, simulation, exploration*

KEYWORDS: *interdisciplinarity, organization, complex system, sociology of the organized action, multi-agents system, modelling, formalization, simulation, exploration*

1. Introduction

La recherche en informatique s'est beaucoup inspirée de travaux en sciences de l'homme (neuro-sciences, sciences cognitives, psycho(socio)logie, ergonomie, ...). La formalisation ou l'exploitation métaphorique de théories ou résultats empiriques qui relèvent de ces sciences ont permis la production de modèles computationnels qui se sont avérés très utiles en informatique et ont, en retour, permis de préciser certains aspects de ces théories.

La même synergie n'a pas encore eu lieu entre l'informatique et les sciences sociales, et plus particulièrement la sociologie. Plusieurs travaux témoignent cependant de recherches dans ce sens comme ceux sur les modèles organisation-centrés pour les Systèmes Multi-Agents (voir par exemple (Ferber *et al.*, 2005 ; Amiguet *et al.*, 2002 ; Kubera *et al.*, 2008 ; Hubner, 2002), sur la modélisation du comportements des agents à l'aide des concepts tels que le pouvoir, l'autonomie, la réputation ou la confiance (Conte *et al.* 2008 ; Castelfranchi *et al.* 1999), ou la modélisation de phénomènes sociaux spécifiques (voir par exemple les actes des conférence ESSA (European Social Simulation Association)). Cependant, si ces travaux proposent de prendre en considération des notions issues des sciences sociales, ils le font le plus souvent de façon isolée, sans référence à l'intégralité de la théorie qui les sous-tend. Cette démarche obère la légitimité de ces emprunts du point de vue des sciences sociales pour lesquelles les notions sont toujours profondément enracinées dans un contexte théorique et épistémologique. Nous pensons qu'une collaboration plus active entre les sciences sociales, et en particulier les théories des organisations, et l'informatique est de nature à produire des résultats mutuellement utiles aux deux disciplines. D'une part, les outils théoriques et méthodes de l'informatique pour la modélisation et les capacités de calcul des ordinateurs peuvent apporter à la sociologie un cadre formel autorisant de nouveaux résultats ainsi qu'une comparaison et une généralisation des résultats empiriques de terrain. D'autre part, alors que l'informatique est confrontée à la réalisation de systèmes de plus en plus complexes dont la maîtrise de l'(auto-)régulation et de l'évolution s'avèrent problématiques, les organisations sociales possèdent à l'évidence des qualités, par exemple de robustesse, de flexibilité et d'adaptabilité, qui sont recherchées dans les systèmes artificiels, notamment les SMA et les systèmes de systèmes ; il est donc raisonnable de penser que ces systèmes pourraient avantageusement exploiter des modèles de coordination inspirés des mécanismes qui sont à l'œuvre dans les organisations sociales.

La démarche de notre projet, qui associe sociologues et informaticiens, est donc de considérer une théorie des organisations dans son ensemble et de concevoir une formalisation de cette théorie. A notre connaissance, ce type de transfert méthodique et épistémologiquement fondé d'une théorie sociologique des organisation aux systèmes artificiels n'avait pas encore été entrepris. Si l'on regarde l'étendue et la diversité du corpus de ces théories la difficulté de la tâche paraît considérable. Cependant, l'école française de la sociologie des organisations dispose d'une théorie

bien établie par de nombreuses études empiriques, la Sociologie de l'Action Organisée (SAO), qui est suffisamment bien définie et simple pour que son transfert soit envisageable (Crozier, 1963 ; Crozier et *al.*, 1977 ; Friedberg, 1993). C'est cette théorie des organisations que nous avons exploitée.

La suite de cet article est organisée de la façon suivante. Nous commençons par une brève présentation de la façon dont la SAO analyse, de façon indissociable, ce qui motive le comportement des acteurs et la structure d'une organisation (section 2). Puis nous présentons la façon dont nous avons formalisé cette théorie : méta-modèle de la structure des organisations (3.1), technique pour l'étude analytique d'une organisation (3.2), simulation du comportement des acteurs (3.3). Un aperçu de l'environnement *SocLab* qui outille cette formalisation est ensuite donné (section 4). A titre d'illustration, la section 5 présente l'étude d'une organisation qui a été menée sur la base de cette formalisation dans le cadre du projet Concert'Eau, tandis que la section 6 montre comment elle peut être utilisée pour modéliser et mettre en œuvre un mécanisme de coordination sociale dans les Systèmes Multi-Agents.

Les sections suivantes prennent du recul par rapport à cet exposé des résultats de cette collaboration. La section 7 présente l'ensemble de la démarche du projet, à savoir comment le processus de formalisation s'articule avec les dimensions théoriques et empiriques, articulation qui fonde la légitimité scientifique des résultats de ces travaux. La section 8 aborde les apports scientifiques de ces travaux pour chacune des deux disciplines, la sociologie et l'informatique, alors que la section 9 évoque des aspects concrets de cette collaboration qui, bien qu'anecdotiques, nous semblent mériter d'être soulignés. Nous concluons par quelques considérations épistémologiques.

2. Présentation de la Sociologie de l'Action Organisée

Depuis les années 1970, l'école française de sociologie des organisations a développé un programme de recherche, la Sociologie de l'Action Organisée (SAO), dont la fécondité est avérée (Roggero, 2006). Ce corpus sociologique est l'un des plus enseignés en France tant aux spécialistes qu'aux non spécialistes, notamment les futurs cadres dirigeants. Il s'agit de découvrir et de rendre compte du fonctionnement réel d'une organisation, au-delà des règles formelles qui le codifient. Pour la SAO, les organisations sont des « construits sociaux » actualisés dans et par les relations que les acteurs organisationnels entretiennent entre eux. Ces acteurs sont dotés d'une rationalité limitée (Simon, 1981) et mobilisent leurs ressources pour disposer du pouvoir leur permettant de préserver et/ou d'accroître leur autonomie et leur capacité d'action dans l'organisation. Le pouvoir d'un acteur résulte de la maîtrise d'une ou de plusieurs « zones d'incertitude » c'est-à-dire de ressources nécessaires à l'action d'autrui et dont il maîtrise, au moins partiellement, l'accès. Cette maîtrise lui permet de rendre son comportement plus ou moins imprévisible, et ainsi de fixer, dans une certaine mesure, les « termes de l'échange » dans ses relations avec autrui. L'idée que la relation de pouvoir est toujours déséquilibrée est centrale dans la SAO, il y a toujours un acteur en position de force

dans une relation (Friedberg, 1993, p. 113). Mais cette dépendance est réciproque, le dominé a toujours les moyens de monnayer, également dans une certaine mesure, sa collaboration. Cette réciprocité apparaît dès que l'on considère l'ensemble des relations entre les acteurs : un acteur a dominé par b dans une relation peut dominer b dans une autre relation, éventuellement via un troisième acteur.

Dès lors, les relations de pouvoir structurent des configurations sociales, relativement stabilisées, qualifiées de « systèmes d'action concrets » (SAC). Un SAC peut être défini comme l'ensemble constitué, dans un contexte organisationnel donné, par les acteurs et leurs alliances, leurs relations et la régulation de ces dernières. Un SAC est donc un contexte d'interaction assez précisément délimité qui structure la coopération d'un ensemble déterminé d'acteurs, de façon certes contraignante mais sans leur ôter toute marge de manœuvre. D'après (Friedberg, 1993, p. 156) « tout contexte d'action peut être conceptualisé comme sous-tendu par un SAC », ce qui implique que la finalité d'une recherche s'inscrivant dans ce corpus est bien d'identifier le SAC pour rendre compte du fonctionnement de l'organisation. Mais il faut insister sur un point : si cette forme organisée que constitue le SAC peut être repérée c'est qu'elle est régulée. Cette régulation « qui se crée par marchandage » (*op. cit.*, p. 173) représente la manière dont les acteurs mettent en œuvre, entretiennent et/ou modifient un ordre local qui « structure et canalise leurs interactions dans un espace d'action donné » (p. 192).

Si, selon Friedberg, la SAO peut être appliquée à toutes les formes d'action « organisée », son domaine de prédilection reste les *organisations* à savoir des ensembles assez fortement codifiés et précisément délimités, où les acteurs sont durablement ensemble, où il existe un objectif – celui de l'organisation – partiellement différenciable des objectifs de chaque acteur, et enfin des ressources qui sont utilisées selon certaines règles en conformité avec cet objectif.

Cette perspective a donné lieu à de nombreuses applications empiriques de qualité, mais elle est obérée par un usage quasi-exclusif de techniques qualitatives ! ! entretiens semi-directifs, analyse des sources documentaires, éventuellement observation participante ! et plus rarement enquêtes par questionnaires. Dès lors, cette analyse sociologique a produit une accumulation de monographies dont la comparaison est problématique. La connaissance produite, certes utile localement, s'avère difficilement généralisable et limite la légitimité scientifique poppérienne de la démarche, ce qu'admet volontiers Friedberg (p.132 et s.).

Pour pallier ces limitations, nous avons entrepris de formaliser la Sociologie de l'Action Organisée. Partant du postulat de l'autonomie même relative des acteurs engagés dans une action organisée, cette théorie est indiscutablement une théorie de l'action. Sans être purement interactionniste, elle fait de l'organisation le résultat des actions de ses membres sous les contraintes que constitue le système pour les acteurs c'est-à-dire « les mécanismes régulateurs assurant l'intégration de [leurs] comportements » (Crozier *et al.*, 1977, pp. 96-97). L'approche agents nous a semblé particulièrement adaptée pour formaliser et modéliser cette conception de l'action sous contraintes systémiques.

3. Formalisation de la Sociologie de l'Action Organisée

Cette formalisation est constituée d'un méta-modèle de la structure des organisations (ou plus précisément des Systèmes d'Action Concret selon la terminologie de la SAO), de techniques pour l'étude analytique de modèles d'organisation, et d'algorithmes de simulation pour déterminer comment les acteurs sociaux d'une organisations pourraient se comporter les uns vis à vis des autres. Nous abordons chacun de ces aspects l'un après l'autre (Sibertin-Blanc *et al.*, 2008).

3.1. Le méta-modèle d'une organisation

Présentons d'abord les éléments essentiels de ce méta-modèle (Sibertin-Blanc *et al.*, 2006) puis ceux correspondant à une complexification que nous avons été amenés à introduire (Roggero *et al.*, 2008 ; Mailliard, 2008). Nous n'aborderons pas les aspects qui relèvent principalement de la sociologie, du point de vue théorique (*i.e.* dans quelle mesure les éléments de ce méta-modèle capturent effectivement la sémantique des concepts essentiels de la SAO) ou méthodologique (*i.e.* la démarche suivie par le sociologue pour élaborer un tel modèle d'un SAC particulier et comment il interprète les résultats issus de ce modèle).

3.1.1. Le socle du méta-modèle

La figure 1 présente le méta-modèle sous la forme d'un diagramme de classes UML¹. Les éléments constitutifs d'une organisation sont des *acteurs*² et des *relations*, reliés par les associations *contrôle* et *dépend*.

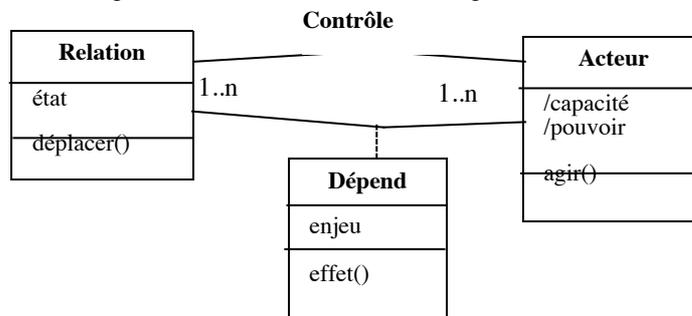


Figure 1. Le méta-modèle sous la forme d'un diagramme de classe UML

Les *acteurs* sont les entités qui interagissent les unes avec les autres tandis que les *relations* sont les supports de ces interactions. Chaque *relation* est contrôlée par un unique *acteur* qui est le seul à pouvoir *déplacer* son *état*. L'état d'une *relation*

¹ La notation UML nous permet de représenter graphiquement le méta-modèle, pour une lecture plus globale que le texte explicatif ; une définition formelle est donnée plus loin, table 1.

² Nous écrirons dans cette section les éléments du méta-modèle en *italique* afin de bien spécifier qu'il s'agit des entités du méta-modèle qu'on ne peut confondre avec les éléments du système concret qu'elles sont censées représenter.

(ou « termes de l'échange ») caractérise le comportement de l'acteur qui maîtrise la ressource (ou « zone d'incertitude ») qui est en jeu dans cette relation. Le domaine de valeur de l'état d'une *relation* est donc l'espace de choix à l'intérieur duquel l'*acteur* contrôleur pourra sélectionner un comportement plus ou moins coopératif. Cet espace de choix est polarisé selon le degrés de coopération de l'acteur³. En fonction des objectifs qui lui sont propres, chaque acteur place des *enjeux* sur certaines relations dont il *dépend* alors. L'état d'une *relation* détermine alors, pour chacun des *acteurs* qui en dépend, sa possibilité d'accéder à la ressource qui est en jeu, et donc sa « capacité d'action » pour atteindre ses objectifs, qui est déterminée par l'application d'une *fonction d'effet* à l'état de la *relation*.

L'état d'une organisation étant défini comme la donnée de l'état de chacune de ses *relations*, une grandeur particulièrement significative est alors, pour chaque *acteur*, le cumul, sur l'ensemble des *relations* dont il dépend, d'une pondération des effets de ces *relations* par les *enjeux* de l'acteur. Nous l'appellerons la *capacité d'action* d'un acteur. Obtenir un bon niveau de capacité d'action peut être considéré comme le méta-objectif de chaque acteur : disposer des moyens dont il a besoin pour réaliser ses objectifs. Plus formellement, la capacité d'un acteur *a* quand l'organisation est dans un état *e* peut être définie comme la somme⁴ sur l'ensemble des relations *r* des produits de l'enjeu que *a* place sur *r* par l'effet sur *a* de l'état de *r*. Soit :

$$\text{capacité}(a, e) = \sum_{r \in R} \text{enjeux}(a, r) * \text{effet}_r(a, e_r)$$

Une autre grandeur très significative est la mesure dans laquelle un acteur contribue à la capacité d'un autre acteur, c'est-à-dire la quantité de capacité d'action qu'il lui prodigue par l'intermédiaire des relations qu'il contrôle. C'est ce qui nous semble le mieux exprimer la notion de pouvoir qui est au cœur de la sociologie de l'action organisée (Mailliard *et al.*, 2010). Plus formellement, le pouvoir d'un acteur *c* sur un autre acteur *b* quand l'organisation est dans un état *e* est égal à la somme, sur l'ensemble des relations *r* contrôlées par *c*, des produits de l'enjeu que *b* place sur *r* par l'effet sur *b* de l'état de *r*. Soit :

$$\text{Pouvoir}(c, b, e) = \sum_{r \in R; c \text{ contrôle } r} \text{enjeux}(b, r) * \text{effet}_r(b, e_r)$$

3.1.2. Les extensions

L'utilisation de ce méta-modèle pour modéliser des cas d'école tels que ceux présentés dans (Bernoux, 1985) nous a conduit à le compléter (cf. figure 2).

³ Dans le modèle d'un SAC, il est indispensable de préciser l'échelle d'interprétation, en termes de comportements, de l'espace de choix de chaque relation.

⁴ Cette façon d'agréger l'impact des relations sur un acteur n'est valide que dans la mesure où ces impacts sont indépendants les uns des autres. Plus généralement, il s'agit d'un problème d'agrégation des préférences (Roy, 1985 ; Grabisch, 2003).

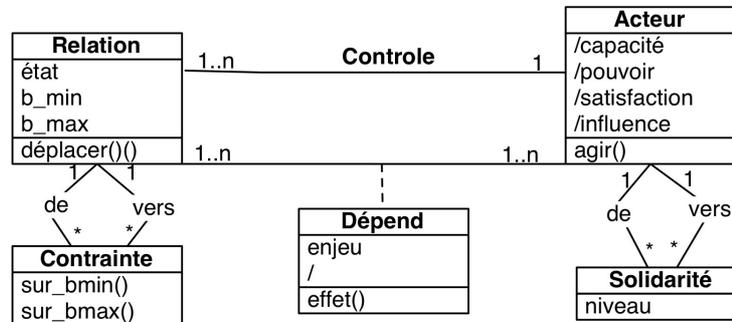


Figure 2. Le méta-modèle étendu des SAC

Les contraintes sur l'espace de choix

L'*acteur* qui contrôle une *relation* ne peut pas pour autant se comporter n'importe comment, *i.e.* attribuer n'importe quelle valeur à l'état de cette *relation*. Il doit respecter « les règles du jeu social ». Si nous définissons l'espace de choix de chaque *relation* comme un intervalle sur une échelle bi-polaire que nous fixons arbitrairement à $[-1, 1]$, les extrémités -1 et $+1$ correspondant aux limites techniques de faisabilité des comportements les moins et les plus coopératifs, et la valeur nulle aux comportements que l'on ne peut pas qualifier de particulièrement coopératifs ou non, nous représentons ces contraintes sociales par deux valeurs b_{min} et b_{max} (avec $-1 \leq b_{min} < b_{max} \leq 1$). L'intervalle $[b_{min}, b_{max}]$ d'une *relation* représente l'étendu de la marge de manœuvre de l'acteur qui la contrôle, son degré d'autonomie.

Les contraintes entre relations

Le cas du « monopole industriel » (Crozier, 1963, pp. 67-174 et 186-214) présente une *relation* qui porte sur « l'entretien des machines », maîtrisée par les « ouvriers d'entretien », et une autre *relation* qui porte sur « la production », maîtrisée par les « ouvriers de production ». La façon dont les ouvriers d'entretien s'occupent des machines détermine évidemment la marge de manœuvre des ouvriers de production : si les machines fonctionnent mal, les capacités de production des ouvriers de production sont limitées. Cela conduit à introduire les *contraintes* que l'état d'une *relation* peut exercer sur une autre en déterminant les bornes de son intervalle $[b_{min}, b_{max}]$.

Les solidarités

Il peut exister entre certains *acteurs* des liens (familiaux, de condition sociale, etc.) extérieurs à l'organisation ainsi que des convergences ou divergences d'intérêts explicitement reconnues. Il nous faut aussi pouvoir rendre compte des coalitions,

acteurs abstraits au succès duquel des participants ont un certain intérêt. Cela nous a conduit à introduire la notion de solidarité entre acteurs.

Si *solidarité(a, b)* désigne la solidarité que l'acteur *a* place sur l'acteur *b*, les notions de capacité d'action et de pouvoir d'un acteur conduisent alors à considérer sa *satisfaction* (ce qu'il reçoit) et son *influence* (ce qu'il donne) :

$$Satisfaction(a, e) = \sum_{b \in A} solidarité(a, b) * \sum_{r \in R} enjeux(b, r) * effet_r(b, e_r)$$

$$Influence(a, c, e) = \sum_{b \in A} solidarité(c, b) * \sum_{r \in R; a \text{ contrôle } r} enjeux(b, r) * effet_r(b, e_r)$$

Le contrôle partagé

Le pouvoir d'expression de ce méta-modèle peut être étendu davantage, par exemple en considérant que le contrôle d'une relation comme peut être partagé entre plusieurs acteurs.

3.2. Etude analytique d'une organisation

Sur la base du méta-modèle que nous venons de présenter, le modèle d'une organisation apparaît comme une structure mathématique (cf. table 1) constituée d'ensembles et de fonctions dont on peut étudier d'une part les propriétés et d'autre part les configurations remarquables. L'interprétation de ces éléments repose directement sur celle du méta-modèle dans les termes de la SAO, et la signification de chacun d'eux doit être discutée avec prudence. Nous ne discuterons pas davantage dans cet article du bien fondé de la quantification en sciences sociales (Roggero, 2006), nous contentant d'observer qu'elle est à la base de toute comparaison⁵.

3.2.1 Les indicateurs

La structure d'une organisation étant définie, il est possible de définir un grand nombre d'expressions mathématiques dont certaines, que nous appellerons *indicateurs*, font l'objet d'une interprétation dans les termes de la SAO. Certains de ces indicateurs portent sur un élément de l'organisation, par exemple l'autonomie ou le degré de dépendance d'un acteur, sa centralité, son pouvoir ou sa capacité d'action, la pertinence d'une relation ou sa force. D'autres indicateurs quantifient un lien entre deux acteurs, par exemple le pouvoir d'un acteur sur un autre, ou entre un acteur et une relation (par exemple la marge de manœuvre d'un acteur sur une relation), de tels indicateurs se prêtant bien à une représentation de l'organisation sous forme de réseau dont les nœuds ou les arcs, orientés, sont valués. Parmi ces indicateurs, on pourra distinguer les indicateurs qui sont *contextuels*, étant définis pour un état particulier de l'organisation (par exemple la satisfaction d'un acteur) et

⁵ Les échelles de valeur des éléments du modèle (espace de choix, capacité d'action notamment) sont bien entendu totalement arbitraires, et donc de même les valeurs qui en sont dérivées. Seuls importent les écarts, que ce soit en grandeur (les valeurs elles-mêmes) ou en proportion ((valeur – valeur minimale) / (valeur maximale – valeur minimale)).

les indicateurs *structurels* qui ne font intervenir que la *force*⁶ des relations et sont donc indépendants de tout état.

Divers type de réseaux peuvent être générés à partir de la structure d'une organisation. Ils mettent en évidence des liens structurels ou contextuels entre les acteurs et peuvent être étudiés en tant que tel (Chapron, 2009).

3.2.2 L'analyse des configurations

La fonction de satisfaction définit, pour chaque état d'une organisation, une certaine *configuration* de cette organisation, c'est-à-dire le vecteur de la satisfaction de chacun des acteurs. L'exploration de l'espace des configurations permet de repérer les potentialités d'une organisation, les différentes façons dont elle pourrait être régulée. Elle permet notamment d'identifier des « configurations remarquables », c'est-à-dire des configurations qui satisfont des propriétés particulières telles que les extrema de la satisfaction (de chaque acteur ou global) ou les équilibres de Nash. On peut alors détecter des propriétés de l'organisation telles que les conflits structurels entre deux acteurs (si tous les états correspondant aux configurations qui donnent une bonne satisfaction à un acteur conduisent à une mauvaise satisfaction pour l'autre et inversement) ou les convergences d'intérêts structurelles, ou bien la difficultés à coopérer si les états correspondant à une bonne coopération entre l'ensemble des acteurs sont rares ou dispersés..

L'étude des configurations d'une organisation nous renseigne sur ce que la structure de l'organisation permet aux acteurs de faire, elle ne nous renseigne pas sur le comportement qu'ils sont susceptibles d'adopter en pratique : par exemple, il n'est pas sûr que chaque acteur soit disposé à coopérer avec les autres au point que le maximum de la satisfaction globale soit atteint. C'est cette question de la faisabilité sociale des configurations d'une organisation que la simulation nous permet d'aborder.

La structure du jeu (sans les extensions)

- ! $\mathbf{A} = \{a_1, \dots, a_N\}$, l'ensemble des acteurs.
- ! $\mathbf{R} = \{r_1, \dots, r_M\}$, l'ensemble des relations.
- ! **état** : $\mathbf{R} \longrightarrow \mathbf{EC}_r$, où \mathbf{EC}_r est l'espace de choix de la relation r .
Un **état du jeu** est alors défini comme la donnée de l'état de chacune des relations, $e = (\text{état}(r_1), \dots, \text{état}(r_M))$! $\prod_{r \in \mathbf{R}} \mathbf{EC}_r$.
- ! $\mathbf{m} : \mathbf{R} \longrightarrow \mathbf{A}$, une fonction qui indique quel est l'acteur qui contrôle chaque relation.
- ! **enjeu** : $\mathbf{A} \times \mathbf{R} \longrightarrow [0, 10]$, une fonction qui indique l'enjeu que chaque acteur place sur chacune des relations, telle que ! $a \in \mathbf{A}$, ! $r \in \mathbf{R}$ $\text{enjeu}(a, r) = 10$.
- ! **effet_r** : $\mathbf{A} \times \mathbf{EC}_r \longrightarrow [-10, 10]$ une fonction qui indique la capacité d'action que chacun des acteurs obtient en fonction de l'état de chacune des relations.

⁶ On définit la force d'une relation sur un acteur comme l'amplitude de sa fonction d'effet : $\text{force}(r, a) = \max_{x,y} (\text{Effet}_r(a, x) - \text{Effet}_r(a, y))$

<p><i>La dynamique du jeu</i></p> <p>Les actions que peut réaliser un acteur a consistent à déplacer l'état des relations qu'il contrôle. Une telle action est donc un vecteur $(d_r)_{r \in m^{-1}(a)}$ tel que $e_r + d_r \in EC_r$ pour chaque relation $r \in m^{-1}(a)$.</p> <p>Les <i>acteurs</i> agissent de façon synchrone, tous en même temps, ce qui conduit à définir la fonction de transition suivante :</p> <p>Transition : Etat x Action \longrightarrow Etat $(e_{r1}, \dots, e_{rM}) \times (d_{r1}, \dots, d_{rM}) \longrightarrow (e_{r1} + d_{r1}, \dots, e_{rM} + d_{rM})$ où d_{ri} est fixé par l'acteur $m(r_i)$, pour $i = 1 \dots M$.</p> <p>Chaque acteur cherche à placer le jeu dans un l'état qui lui procure une valeur de sa satisfaction (ou de sa capacité, son pouvoir ou son influence) qui le satisfait, et l'objectif du jeu est de parvenir à un état stationnaire, pour lequel chaque acteur est satisfait. Le jeu est alors régulé.</p>

Table 1. *Le jeu social*

3.3. La simulation du comportement des acteurs

Selon la SAO, le comportement des acteurs sociaux est *stratégique* : chacun cherche à préserver ou à améliorer son niveau de pouvoir, et utilise les relations qu'il contrôle comme leviers d'actions pour influencer le comportement des autres. Pour autant, ce comportement n'est pas nécessairement délibéré, et il s'exerce dans le cadre d'une *rationalité limitée* (Simon, 1981). De plus, ce comportement est relativement stable, ce qui donne lieu au phénomène de *régulation* : les acteurs se comportent comme s'ils obéissaient aux règles qu'ils instaurent eux-mêmes. Enfin, ce comportement est globalement *coopératif*, cette coopération étant nécessaire au bon fonctionnement et donc à la perpétuation de l'organisation, ce à quoi chaque acteur est attaché.

La simulation nous permet de déterminer de quelle(s) façon(s) l'organisation est susceptible de se réguler : le système étant placé initialement dans un état quelconque, nous pouvons doter les acteurs d'une rationalité qui permette à chacun de jouer au jeu social (cf. Table 1) pour rechercher un comportement qui le satisfasse, et ce jusqu'à ce que l'organisation se stabilise dans un état stationnaire, c'est-à-dire soit régulée. Il est alors très intéressant de comparer cet état avec les autres états possibles de l'organisation (cf. 3.2).

Il s'agit bien d'un jeu au sens de (Morgenstein *et al.*, 1953) puisque chaque acteur contribue à déterminer l'état de l'organisation et en retire une certaine « utilité », sa satisfaction (le jeu peut bien sûr se définir en considérant la capacité, le pouvoir ou l'influence de chaque acteur). Il se distingue cependant des jeux tels qu'ils sont considérés en économie, ce qui nous les fait qualifier de « sociaux ».

D'une part les acteurs sont dotés d'une rationalité limitée et ils ne recherchent pas un optimum, mais simplement une valeur satisfaisante. D'autre part le jeu ne s'intéresse pas aux gains, éventuellement cumulés, que chaque acteur peut obtenir à chaque étape ; il s'intéresse aux conditions même d'existence du jeu, c'est-à-dire à la possibilité que les acteurs trouvent une façon d'adapter leurs comportements les uns aux autres qui permette à l'organisation de perdurer en satisfaisant raisonnablement bien les conditions de sa raison d'être. Si le jeu parvient à un état stationnaire, c'est que chaque acteur a trouvé un comportement qui lui convient. Remarquons aussi que les organisations sociales donnent lieu à des jeux qui sont à somme non nulle.

Nous avons défini un algorithme de simulation correspondant à la spécification que nous donne la SAO. Cet algorithme est basé sur le cycle classique perception/décision/action et sur un modèle d'auto-apprentissage par essais-erreurs, à base de règles de la forme {situation, action, force} (Sutton *et al.*, 1998)⁷. Il donne de bons résultats puisque les simulations, lorsqu'elles convergent⁸, le font dans un état qui est assez proche du maximum de la satisfaction globale (95% de cette satisfaction globale dans le cas d'organisations simples, 80 à 85% dans le cas d'organisation pour lesquelles, du fait de la structure du jeu, la coordination est plus difficile à trouver). (Sibertin-Blanc *et al.*, 2006) et (El Gemayel *et al.*, 2009) présentent cet algorithme plus en détail. Cet algorithme requiert peu de capacités cognitives de la part des acteurs et il est totalement distribué, les acteurs ne disposant que de très peu d'information sur la structure du jeu et son état courant ; en cela il respecte l'opacité du social, et l'état dans lequel l'organisation se régule émerge des interactions entre les processus d'apprentissage des acteurs. D'autre part, les paramètres de cet algorithme, sur la valeur desquels SocLab permet une analyse de sensibilité, sont interprétables en termes de capacités psychologiques ou psychosociales des acteurs.

4. L'environnement logiciel SocLab

Nous avons développé un environnement logiciel, *SocLab*, permettant d'éditer des modèles, de les analyser analytiquement et de simuler les comportements des acteurs (Maillard, 2008). *SocLab* a fait l'objet d'un développement spécifique en Java, ce qui a permis de proposer aux sociologues un outil adapté au plus près à leurs besoins, dont l'apprentissage soit relativement rapide, facile à maintenir (au cours des nombreux aller-retour avec les sociologues) et à installer. *Soclab* a eu le mérite de concrétiser et d'être le support de la collaboration entre les sociologues et les informaticiens.

⁷ Le choix d'un algorithme par auto-apprentissage mérite bien sûr d'être discuté... ce que nous ne ferons pas ici. Contentons nous de remarquer que, si la SAO postule la régulation de tout SAC et identifie les mécanismes sous-jacents par lesquels elle s'instaure, elle ne nous dit rien sur la façon dont les acteurs sociaux mettent en œuvre ces mécanismes, et que l'apprentissage est un procédé relativement neutre de ce point de vue.

⁸ Il est remarquable que les simulations des jeux à somme nulle ne convergent pas : n'ayant pas d'intérêt à coopérer, les acteurs ne savent pas comment se comporter !

SocLab est constitué de différents modules. La figure 3 illustre l'édition du modèle d'une organisation.

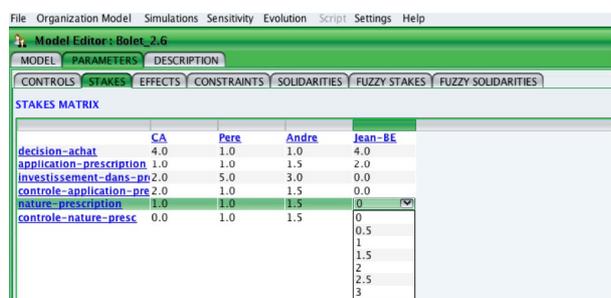


Figure 3. Edition des enjeux (sur le cas d'école « Bolet »)

La figure 4 illustre la façon dont l'utilisateur peut explorer l'espace des états d'une organisation : l'utilisateur a la possibilité de créer et de modifier des états de l'organisation étudiée en précisant la valeur de l'état de chacune des relations. *SocLab* calcule et affiche les capacités d'action reçues par chacun des acteurs, que ce soit au titre des relations dont il dépend ou au titre de ses solidarités, et les combine pour donner les valeurs de satisfaction et de pouvoir correspondantes, sous forme de tableaux ou d'histogrammes, en proportion ou en valeur. Il est également possible de parcourir l'espace des états de l'organisation pour en extraire les éléments pertinents : les états qui maximisent ou minimisent certains critères, ou qui reflètent une configuration particulière du système (comme les équilibres de Nash).

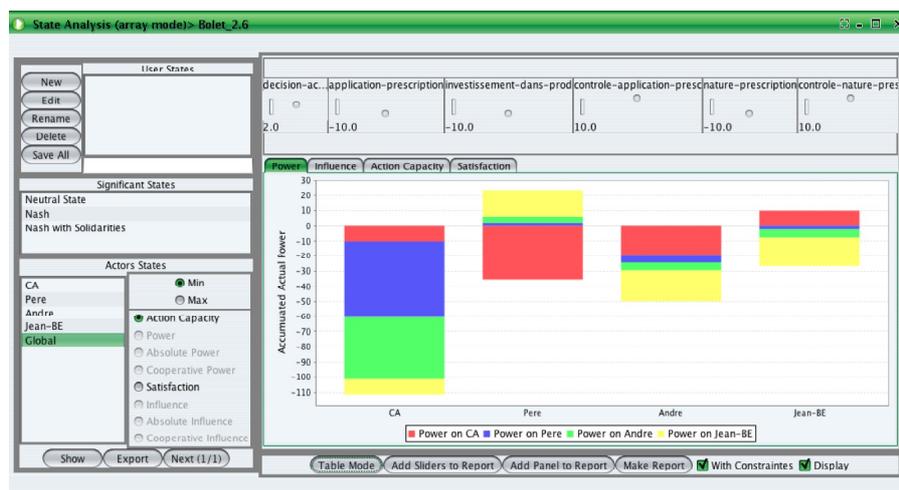


Figure 4. Exploration des états

Avant de lancer une simulation, l'utilisateur précise la valeur des paramètres de la rationalité de chacun des acteurs (capacité à discriminer les situations, ténacité, ...). Les résultats sont présentés sous la forme de courbes montrant l'évolution de la valeur des états des relations au cours du temps, ainsi que l'évolution de la satisfaction des acteurs.

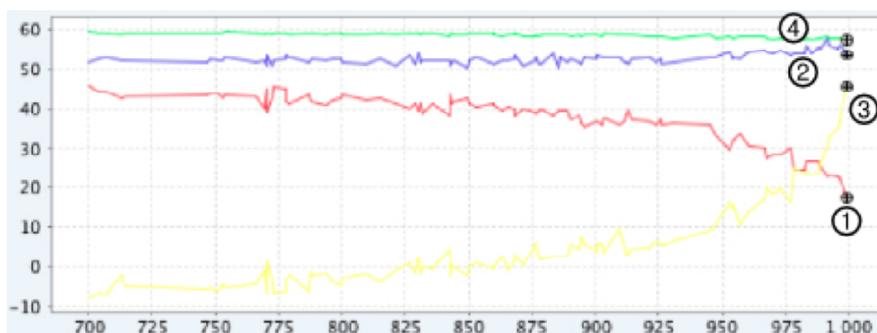


Figure 5. Résultats d'une analyse de sensibilité

Un module d'analyse de sensibilité (cf. figure 5) permet d'étudier l'influence de paramètres sur les résultats de simulation. Il est possible de faire varier les paramètres de l'algorithme de rationalité des acteurs, ainsi que les solidarités ou les enjeux des acteurs, et d'afficher les résultats de simulation en fonction de la valeur des paramètres qui varient. Le développement d'un module pour l'analyse statistique des résultats de simulation et d'analyse de sensibilité est en cours.

Par ailleurs, *SocLab* permet de représenter graphiquement la structure d'un modèle sous la forme d'un réseau d'acteurs, ou d'un réseau biparti (constitué de nœuds acteur et de nœuds relation). L'utilisateur peut sélectionner dans une liste les indicateurs structurels ou contextuels avec lesquels il souhaite étiqueter les nœuds ou les arêtes du réseau.

Enfin, l'utilisateur a la possibilité de générer, sous forme de fichiers au format RTF, différents rapports contenant ses commentaires accompagnés des informations pour reproduire le modèle (acteurs, enjeux, solidarités et forme des fonctions d'effets), de tableaux obtenus par l'analyse des configurations ainsi que des résultats de ses simulations ou ses analyses de sensibilité.

5. Utilisation de *SocLab* pour modéliser et analyser un Système d'Action Concret

L'environnement *SocLab* que nous venons de présenter permet de modéliser des organisations, d'éditer ces modèles, de générer des indicateurs et des configurations

remarquables, de simuler le comportement des acteurs ; il permet également au sociologue de consigner ses hypothèses et ses interprétations des résultats obtenus lors de son analyse d'une organisation. Nous présentons ici les résultats du travail qui a été réalisé avec *SocLab* dans le cadre du projet Concert'Eau (Vautier *et al.*, 2009 ; Adreit *et al.*, 2009).

5.1. Le projet Concert'Eau

Le projet Concert'Eau⁹ a été lancé en octobre 2006 pour une durée de trois ans, afin de démontrer la possibilité d'amener les acteurs agricoles d'un territoire à proposer de nouvelles pratiques plus en phase avec la préservation de l'eau et à accepter la mise en œuvre de ces pratiques. Le territoire choisi pour cette démonstration est l'amont du bassin versant du Gers au sein du bassin Adour-Garonne, dans le sud-ouest de la France, territoire classé en « zone vulnérable nitrate » depuis plusieurs années.

L'un des aspects du projet consistait à éclairer la concertation des acteurs par une évaluation scientifique des mesures proposées par le collectif, selon les trois dimensions du développement durable :

- la dimension environnementale : simuler sur vingt ans l'effet des mesures proposées par les acteurs sur la concentration de molécules d'azote et de produits phytosanitaires dans les eaux de surface du Gers et de ses affluents ;
- la dimension économique : mesurer l'effet potentiel de ces mesures sur le temps de travail des agriculteurs, leur revenu brut d'exploitation et sur le coût direct pour la collectivité ;
- la dimension sociologique : estimer l'acceptabilité sociale de chaque mesure par l'ensemble du système et par les seuls agriculteurs.

Nous sommes intervenus sur cette troisième dimension, l'ensemble de l'équipe construisant un modèle de ce système d'action concret et analysant les résultats à l'aide de *SocLab*.

5.2. Du terrain au modèle

Nous avons, à partir d'une enquête de terrain menée par les sociologues, construit un modèle du système d'action. La question de la pertinence du modèle par rapport à cette organisation mérite d'être interrogée : la nécessité de limiter le nombre d'acteurs (la prise en compte de l'ensemble des acteurs eût sans doute rendu les résultats du modèle peu lisibles, les écarts, notamment risquant d'être trop faibles

⁹ Il s'agit d'un contrat Life européen porté par Ecobag-ADERA (Association pour le Développement de l'enseignement et de la Recherche auprès des universités, des centres de recherche et des entreprises d'Aquitaine) et l'AEAG (Agence de l'Eau Adour Garonne), ayant pour partenaires : le Cémagref, le Centro de Recursos Ambientales de Navarra, le CNRS, l'Enfa, le Gramip, Infoterra, l'INPT, l'INRA, l'IRH, Silogic et l'Université des sciences sociales de Toulouse.

pour être significatifs) a conduit les sociologues à faire des choix qui peuvent paraître drastiques, mais qui présentent l'avantage de resserrer au maximum le système ainsi construit, c'est-à-dire d'aller à l'essentiel. De plus, à titre de validation, le modèle a été soumis aux experts qui connaissent bien le milieu : les acteurs proposés sont bien ceux qui sont fondamentaux pour la régulation de ce système organisé.

5.3. Le modèle et sa simulation

Les acteurs et ressources sont au nombre de huit. Nous avons choisi de doter chaque acteur du contrôle d'une seule ressource qui correspond à son principal moyen d'action (tableau 2).

Acteurs	Ressources contrôlées
L'Agence de l'eau (AE)	Financement des projets
Les services déconcentrés de l'Etat : DRAF, DDAF (Directions Régionale ou Départementale de l'Agriculture et de la Forêt), ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques)	Contrôle réglementaire
Le Conseil Général (CG)	Cofinancement des projets
La chambre d'agriculture	Conseil aux agriculteurs
Les coopératives agricoles	Relais vers les agriculteurs
Les instituts techniques et scientifiques	Données (celles qui servent de base aux politiques publiques)
Les agriculteurs dits « conventionnels »	Lobbying majoritaire
Les agriculteurs biologiques et les associations de protection de l'environnement	Lobbying contestataire

Tableau 2. *Les Ressources et Acteurs qui les contrôlent*

A titre d'exemple, le tableau 3 montre les enjeux des acteurs. Ces valeurs sont obtenues à partir d'un protocole d'enquête spécifique et il est remarquable que les acteurs n'aient eu aucune difficulté à répondre aux questions posées. Elles représentent une moyenne pondérée des notes fournies par les différentes personnes appartenant à un acteur collectif qui ont répondu au questionnaire lors des entretiens (plusieurs personnes ayant été interrogées dans chacun des groupes ou organismes).

	AE	DRAF- DDAF	CG	Chambre d'agri.	Coop.	Institut s	Agri Conv.	Agri Bio.
Financement	4	3	2	1	0	1,5	2,5	0,5

Cofinancement	2	1,5	4	1	0	1,5	1	1
Données	2	2,5	1,5	1	1	3	0	0
Conseil	0	0	0	2	2	1	1,5	1
Lobbying majoritaire	0	0	0	2	3	0	2,5	1
Lobbying contestataire	0	0	0	1	0	0	0,5	3
Contrôle réglementaire	2	3	2,5	1	1	2	1	2,5
Relais agriculteurs	0	0	0	1	3	1	1	1

Tableau 3. *Les enjeux placés par les acteurs sur les ressources*

A partir de cette modélisation, *SocLab* simule le comportement des acteurs et calcule les niveaux de satisfaction et de pouvoir de chaque acteur. Le tableau 4 donne un résumé de ces informations que, faute de place, nous ne rapprocherons pas des configurations remarquables de ce SAC. La satisfaction d'un acteur correspond à sa capacité à atteindre ses objectifs compte tenu de ses solidarités, son pouvoir absolu à la somme des valeurs absolues des capacités d'actions qu'il accorde ou retire aux autres par l'intermédiaire des ressources qu'il contrôle et son pouvoir coopératif à la somme des seules capacités d'actions positives qu'il prodigue.

	AE	DRAF DDAF	CG	Cham. d'agri.	Coop	Instituts	Agri Conv.	Agri bio
Satisfaction	68,4	50,7	61,4	71,4	78,1	52,0	72,0	38,0
Pouvoir absolu	146,6	41,5	74,2	25,0	65,1	141,8	101,7	56,5
Pouvoir coopératif	144,2	27,5	74,2	7,9	40,0	141,8	55,4	0,9

Tableau 4. *Satisfactions et pouvoirs des acteurs à convergence des simulations*

5.4. L'interprétation des résultats : du modèle au terrain

Ces résultats doivent alors être interprétés par les sociologues. Brièvement, remarquons tout d'abord que les acteurs les plus satisfaits sont les coopératives, la chambre d'agriculture et les agriculteurs conventionnels, tandis que les moins satisfaits sont les agriculteurs biologiques, les acteurs institutionnels se trouvant dans l'entre-deux. Cette situation n'est guère surprenante dans un système qui vit sur

un *statu quo* fondé sur une vision dominante productiviste de l'agriculture associée à l'habitude du subventionnement. Il y a, au contraire, un paradoxe apparent à constater que, en dehors de l'Agence de l'eau, les instituts scientifiques et techniques sont l'acteur ayant le plus de pouvoir. Mais ce paradoxe est facilement interprété en rappelant que les données concernant le rapport eau-agriculture sont l'objet de batailles serrées et récurrentes entre les acteurs.

D'autre part, il a été intéressant de mettre en évidence un pouvoir que nous appelons coopératif (tableau 4), qui ne prend en compte que les capacités d'action positives qu'un acteur prodigue aux autres. Les écarts entre le pouvoir tel qu'il est défini par le méta-modèle et le pouvoir coopératif montrent que certains acteurs sont très coopératifs (l'Agence de l'Eau, le Conseil Général ou les instituts techniques) tandis que d'autres le sont peu (la Chambre d'agriculture). Les agriculteurs conventionnels tout comme les biologiques ne le sont pas mais pour des raisons différentes : les premiers, en alliance avec les coopératives et la chambre participent d'un oligopole agricole qui dispose d'un pouvoir dominant (si l'on somme les pouvoirs des trois acteurs) et sont moins soucieux de coopération que d'exercer de fortes pressions sur le système, les seconds parce qu'ils considèrent qu'ils sont isolés et qu'aucun autre acteur ne peut (ou ne veut) épouser leur cause.

Ces quelques considérations montrent que les données produites par le modèle permettent des interprétations éclairantes concernant les caractéristiques du système étudié. En particulier, il est possible de déterminer quels sont les acteurs qui auront des raisons et la possibilité de s'opposer ou au contraire de favoriser l'application des mesures proposées.

5.5. Evaluation de l'acceptabilité sociale des mesures proposées

La commande était d'estimer l'acceptabilité des mesures proposées par l'ensemble du système social et par les seuls agriculteurs de ce système. Nous avons interprété cette acceptabilité comme une faisabilité (c'est-à-dire la possibilité d'une régulation sociale sans risque de blocage du fait des changements proposés).

Partant des satisfactions dans la situation actuelle (tableau 4), les sociologues ont effectué une seconde enquête de terrain pour évaluer, pour chaque acteur, l'acceptabilité de chacune des mesures proposées par rapport à la situation actuelle. Nous avons alors pondéré les satisfactions obtenues par simulation avec ces résultats pour obtenir la nouvelle satisfaction de chaque acteur pour chaque mesure.

De plus, la diminution de la satisfaction d'un acteur possédant beaucoup ou peu de pouvoir a des conséquences différentes : dans le premier cas, on peut s'attendre à des interventions en mesure de bloquer la mise en œuvre des changements proposés, dans le second, sans doute pas ou avec une efficacité moindre. Nous avons donc pondéré les satisfactions des acteurs par leurs pouvoirs relatifs. Nous avons ainsi obtenu ce que nous appelons la « faisabilité » de chaque mesure pour chaque acteur.

Enfin, pour chaque mesure, nous avons fait la somme des faisabilités de tous les acteurs pour obtenir la faisabilité du point de vue du système et la somme des faisabilités pour les seuls agriculteurs (conventionnels et biologiques) pour obtenir la faisabilité du point de vue des agriculteurs. Le tableau 5 présente ces résultats pour sept des mesures proposées (M1 à M7).

	actuel	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Système	457	468.1	476.2	494	511.4	483	459	501.1
Agriculteurs	90.5	60.3	60.3	90.5	98.2	96.3	88.5	114.6

Tableau 5. *Faisabilité des mesures M1 à M7 du point de vue du système dans son ensemble et des seuls agriculteurs*

La première colonne (“actuel”) donne la faisabilité sociale de la situation courante. On peut alors comparer la faisabilité de chaque mesure M_i par rapport à elle. Par exemple, M1 et M2 font baisser la faisabilité des mesures pour les agriculteurs ($60,3 < 90,5$) mais l’augmentent légèrement pour l’ensemble du système ($468,1$ et $476,2 > 457$). On peut donc s’attendre à ce que les autres acteurs du système soient prêts à accepter les mesures M1 et M2 et puissent sans doute en permettre la mise en œuvre, mais au détriment des agriculteurs et dans un climat de contestation de leur part. L’analyse plus détaillée des résultats permet de préciser chez quels acteurs cette opposition est concentrée et, ainsi, de donner une idée de la nature des débats et des résistances auxquels les décideurs risquent de se heurter s’ils choisissent d’appliquer telle ou telle mesure (même lorsqu’il semble que le système dans sa globalité puisse l’accepter).

5.6. En conclusion

L’utilisation de *SocLab* dans une telle étude apporte une information généralement absente des études servant à décider d’un choix de politique publique. Elle permet d’informer les choix des décideurs en explicitant quels seraient les changements susceptibles, au-delà de leurs effets environnementaux et économiques, de provoquer un blocage de la part de certains acteurs ou au contraire d’être suffisamment acceptables par les acteurs pour être introduits avec des chances de succès. Face aux questions de l’Union Européenne sur les raisons d’une faible productivité des fonds dépensés, cette approche propose un outil heuristique pour proposer des réponses fortement argumentées.

6. Un modèle socio-inspiré de la dimension sociale des systèmes logiciels

Remarquons tout d’abord que la Sociologie de l’Action Organisée est une théorie très générale ayant un large champ d’application : les caractéristiques constitutives

des Systèmes d'Action Concret se retrouvent dans nombre de systèmes complexes, y compris les systèmes constitués d'entités logicielles. Doter les entités actives de comportements socialement vraisemblables peut s'avérer important pour les SMA, et particulièrement pour les systèmes hybrides composés d'agents artificiels qui interagissent avec des humains. C'est le cas, par exemple, en intelligence ambiante, des robots qui interviennent en équipes ou interagissent avec des humains, ou encore des personnages autonomes des jeux vidéo. Ce qui suit s'applique plus généralement aux systèmes qui constituent une organisation telle que nous en avons présenté les caractéristiques dans la section 3.1, à savoir comportant : un objectif au système lui-même, distinct de ceux des participants, sous la forme des fonctions qu'il est destiné à assurer) ; une relation d'appartenance assez stable entre ce système et les entités logicielles qui le constituent, les unes actives (des processus), les autres passives (des ressources informationnelles) ; une relation d'utilisation entre les entités actives et les entités passives qui assure un contrôle destiné à garantir la réalisation des objectifs du système.

Une fois déterminé ce qui relève de l'autonomie des agents (en vertu de leur spécialisation fonctionnelle et du principe de subsidiarité) et ce qui relève de leur contrôle, la question est alors de définir un mécanisme de régulation sociale tel que les agents gèrent leur autonomie non pas indépendamment les uns des autres, exclusivement selon leur intérêt propre, mais en tenant compte de l'impact de leur comportement sur les autres agents et sur l'ensemble du système, et ainsi s'organisent en une *société d'agents*.

La formalisation de la SAO permet de définir un tel modèle de la structure sociale d'un SMA et d'assurer sa régulation.

6.1. Modélisation de la structure sociale d'un SMA

le point de départ de la construction du modèle de la structure sociale du système est *architecture logicielle* du SMA, à savoir l'ensemble des entités actives et passives et la relation d'utilisation qui les associe, que le modélisateur établit au niveau de granularité qu'il juge pertinent. La SAO considérant que toutes les interactions entre acteurs sont médiatisées par des ressources, la relation d'utilisation de cette architecture logicielle ne doit pas comporter de liens directs entre les processus : dans cette architecture, les appels de procédures doivent être médiatisés par des ressources qui réifient ces appels.

Modulo quelques restrictions, les processus constituent les acteurs et les ressources informationnelles les ressources du modèle. A chaque acteur sont associés des objectifs, les missions du système qu'il est chargé d'assurer ou les aspects dont il a la responsabilité. Sur la base de la relation d'utilisation, il est possible de déterminer quels acteurs déterminent l'état des ressources et quels acteurs en ont besoin, et d'en déduire les relations du modèle, l'acteur qui la contrôle et ceux qui en dépendent. L'espace de choix de chaque relation s'interprète comme l'ensemble des politiques qui peuvent être adoptées par l'acteur contrôleur dans la

gestion de la (ou les) ressource qui sous-tend la relation. Ensuite, les enjeux d'un acteur sont déterminés par l'importance de chaque relation eu égard à ses objectifs. Quant aux solidarités, elles peuvent être déterminées à partir d'un graphe de compatibilité entre les objectifs des acteurs, par exemple en gratifiant un acteur dont les objectifs sont essentiels pour le bon fonctionnement du système de solidarités positives de la part des acteurs dont les objectifs sont moins importants et conflictuels avec les siens.

6.2. L'étude analytique du modèle

Une fois la structure sociale du système logiciel modélisée, son étude analytique, grâce aux indicateurs et à l'exploration des configurations présentés en section 3.2, renseigne les concepteurs sur ce que la structure de l'organisation permet aux processus-acteurs de faire et sur ses régulations potentielles. Elle peut ainsi permettre d'ajuster les solidarités et de mettre en évidence des inconvénients ou des défauts de l'architecture logicielle.

On sait que la mesure est une dimension essentielle de toute ingénierie : elle permet la comparaison et, par là, l'amélioration expérimentale des techniques et la maîtrise de la qualité. L'un des intérêts de cette approche est d'introduire la mesure à l'aide des indicateurs évoqués en section 3.2. Si leur utilisation nécessite une bonne compréhension de ce qui se joue dans la structure sociale d'une organisation – les notions de pertinence ou de force d'une relation, de pouvoir structurel ou de centralité d'un agent, de pouvoir d'un agent sur un autre ne sont sans doute pas (encore !) familières aux concepteurs de SMA – ils nous semblent cependant très utiles pour bien apprécier la contribution de chacun des éléments d'un SMA et la façon dont ils sont susceptibles d'interagir.

6.3. La régulation du système

C'est au concepteur de déterminer le type de régulation qu'il souhaite voir adopter par le système, sachant qu'une régulation est caractérisée par l'état des relations du modèle de sa dimension sociale, c'est-à-dire les comportements que les acteurs adoptent dans la gestion des ressources qu'ils contrôlent. S'il souhaite par exemple privilégier la capacité d'action de deux acteurs particuliers, il pourra calculer l'ensemble des états pour lesquels leurs satisfactions sont au-dessus d'un certain seuil. Dans la pratique, cet ensemble d'états se présentera sous la forme d'un intervalle $[b_{\min_r}, b_{\max_r}]$ pour certaines relations r , ou d'un ensemble de tels intervalles.

Il s'agit donc pour le concepteur de mettre en œuvre une certaine régulation en restreignant l'autonomie des acteurs. Trois procédés sont envisageables pour cela.

6.3.1 Régulation statique

Le premier procédé consiste à adapter la conception du système pour renforcer la part du contrôle dans le comportement des processus-acteurs. Cette solution, qui est

câblée dans l'architecture du système, présente l'inconvénient de ne pas prendre en compte une éventuelle évolution de l'environnement du système ou de la structure de sa dimension sociale ; par exemple, si les objectifs (et donc les enjeux) de certains acteurs évoluent, si le nombre de processus d'un acteur pluriel varie, ou si certaines ressources apparaissent ou disparaissent, le système ne peut pas s'adapter dynamiquement à ces évolutions.

6.3.2 Régulation centralisée

Pour prendre en compte de telles évolutions, le concepteur peut introduire un nouvel agent, que l'on pourrait appeler le « régulateur social », chargé de tenir à jour le modèle de la structure sociale du système, de calculer les états du système correspondant au type de régulation souhaitée et enfin d'indiquer aux processus-acteurs les valeurs de l'intervalle $[b_min_r, b_max_r]$ de l'espace de choix de chacune des relations qu'ils contrôlent. Il appartient alors aux processus-acteurs d'adopter un comportement respectant les contraintes qui leur sont ainsi notifiées.

Si ce procédé présente l'avantage d'une régulation dynamique, il nécessite cependant une centralisation de la régulation qui n'est pas satisfaisante lorsque le système est largement distribué.

6.3.3 Régulation entre acteurs autonomes

L'exploitation de la métaphore sociologique conduit à un troisième procédé de régulation, qui consiste à doter les processus-acteurs de capacités de négociation leurs permettant de jouer le jeu social (cf. 3.3) et ainsi d'ajuster dynamiquement leurs comportements les uns aux autres.

Le jeu s'interrompt lorsque tous les acteurs sont satisfaits, et il reprend chaque fois que l'un des acteurs, n'acceptant plus son niveau de satisfaction, modifie l'état des relations qu'il contrôle et pousse ainsi les autres à faire de même. Les acteurs peuvent jouer le jeu social littéralement, c'est-à-dire modifier effectivement leur gestion des ressources qu'ils maîtrisent en fonction de la valeur qu'ils choisissent pour l'état des relations qu'ils contrôlent. Ils semblent préférable qu'ils le jouent symboliquement, c'est-à-dire qu'ils ne modifient la façon dont ils gèrent les ressources qu'ils maîtrisent que lorsque l'état du jeu est stabilisé. Pour que chacun des acteurs soit informé du solde qu'il obtient pour chacune des relations dont il dépend, il suffit que chaque relation soit réifiée et envoyée à chaque acteur dépendant la valeur de sa fonction d'effet correspondant à son état courant.

7. Démarche de la recherche interdisciplinaire

La figure 6 présente la démarche que nous avons mise en œuvre dans le cadre de cette recherche. Nous verrons dans quelle mesure cette démarche permet de légitimer les résultats produits (Sibertin-Blanc).

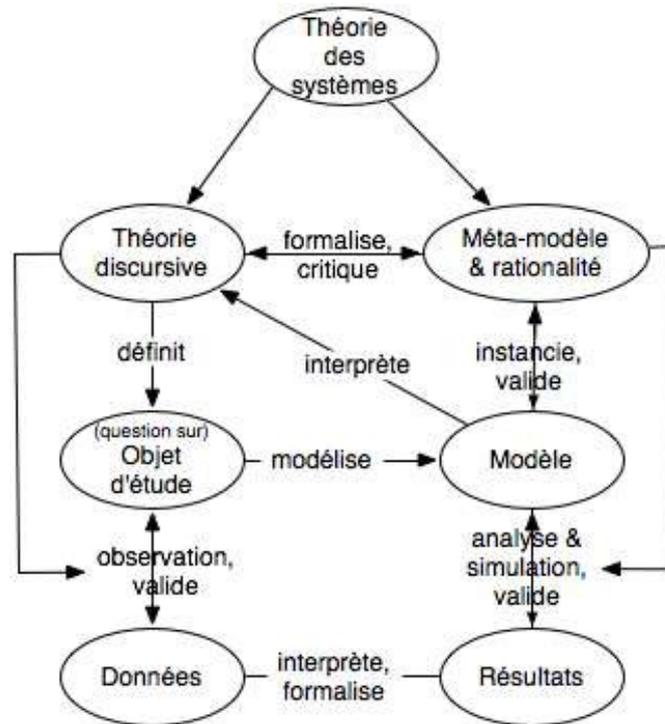


Figure 6. La démarche du projet.

7.1. Point de départ et enjeux

La référence commune aux sociologues et aux informaticiens est la théorie des systèmes complexe, et plus spécifiquement les travaux d'Edgar Morin (Morin, 1977-2004).

Pour les sociologues, l'enjeu était d'opérationnaliser cette approche dans le cas des SAC, objets qui se prêtent à une interprétation selon le paradigme de la complexité de Morin tout en étant raisonnablement appréhendables. Pour les informaticiens, l'enjeu était, au-delà de l'exercice de modélisation, de définir un modèle de coordination socio-inspiré pour les systèmes multi-agents (et plus généralement pour les systèmes logiciels distribués dont les entités actives sont dotées d'une certaine autonomie), et de trouver des algorithmes d'optimisation qui soient minimalistes en termes d'information et de complexité.

7.2. La SAO et ses objets d'étude

Les objets d'étude de la SAO, les SAC, sont définis de façon discursive par la SAO qui les institue comme tels et établit (toujours de façon discursive) les

questions que l'on peut se poser à leur endroit (principalement en l'occurrence : pourquoi les acteurs sociaux se comportent-ils comme ils le font ?). Ce faisant, la SAO induit les protocoles expérimentaux qui permettent d'investiguer ces objets pour obtenir ce qu'on appelle des « données » (en fait construites) de terrain. La qualité de ces données, ou la possibilité même d'appliquer les protocoles expérimentaux pour les obtenir, constituent une validation de l'objet d'étude dont la caractérisation, sinon, doit être remise en question.

7.3. Formalisation et enrichissement de la théorie

De la théorie des systèmes, les informaticiens retirent un méta-méta-modèle de la structure des systèmes, comme étant constitués d'entités actives capables de réaliser des opérations, d'opérations dont les occurrences modifient l'état et éventuellement la structure du système et, enfin, d'entités passives que ces opérations mettent en jeu (Sibertin-Blanc, 2010). Formaliser la SAO consiste donc, d'une part à modéliser la structure des SAC en identifiant les entités actives, les opérations et les entités passives et, d'autre part, à modéliser la dynamique des SAC : quelles sont les occurrences d'opérations qui peuvent se produire à partir d'un état donné et avec quel effet ? Modéliser la structure des SAC consiste à produire un méta-modèle, c'est-à-dire un langage formel dont les énoncés sont des modèles de SAC (cf. 3.1). Modéliser la dynamique des SAC consiste à modéliser le comportement des acteurs, puisque ce sont eux qui déterminent le fonctionnement du système, dans les limites des contraintes qui leur sont imposées (cf. 3.3).

Une précision s'impose ici : la SAO ne nous dit rien sur le fonctionnement concret d'un système ; par exemple, dans le cas de Concert'Eau, si dans certaines circonstances le Conseil Général serait amené à restreindre ses cofinancements des projets. Elle se contente de rendre compte de la façon dont le système est régulé, c'est-à-dire de la façon dont chaque acteur gère les ressources qu'il contrôle. Rendre compte de la dynamique d'un SAC selon la SAO, c'est donc rendre compte de la façon dont il se régule, c'est-à-dire comment chaque acteur contribue à cette régulation.

La production de concepts ne saurait échapper à des questions d'esthétique et de pédagogie : est-ce que la façon dont l'informaticien présente les choses au sociologue est en consonance avec sa représentation de ce dont il est question, ou bien est-ce que la compréhension de ce dont il est question dans les termes qui lui sont propres lui demande un effort cognitif important ? Seule la pratique permet d'en décider. A cet égard, notre méta-modèle des organisations, pourtant extrêmement abstrait, semble présenter la simplicité indispensable à son utilisation, comme en témoigne la facilité avec laquelle il a pu être mis en œuvre à l'occasion du projet Concert'Eau (Vautier et *al.*, 2008). Par contre, concernant la trentaine d'indicateurs qu'il est possible de définir pour caractériser une organisation, du travail reste à faire pour préciser leur interprétation et les articuler les uns avec les autres.

Cette formalisation peut conduire en retour à critiquer la théorie discursive si la formalisation s'avère impossible (incohérence) ou nécessite d'introduire des hypothèses entre lesquelles il faut choisir (incomplétude).

7.4. Modélisation : validation du méta-modèle et enrichissement de la théorie

La modélisation consiste à élaborer un modèle de la structure d'un SAC qui soit une instance du méta-modèle. Ce modèle constitue une validation du pouvoir d'expression du méta-modèle dans la mesure où tous les éléments significatifs du SAC (tel qu'il est analysé par la SAO) doivent pouvoir y être exprimés, et ce de façon relativement simple¹⁰. Une invalidation du méta-modèle peut en fait s'avérer une critique de la théorie, l'insuffisance du pouvoir d'expression ne provenant pas d'une mauvaise formalisation mais d'un déficit de concepts de la théorie discursive. Cela peut conduire à préciser la théorie discursive, à renforcer sa cohérence interne, ou à rehausser l'importance d'une notion évoquée marginalement. Nous avons ainsi été conduits à amender le méta-modèle, pour y introduire de nouveaux éléments, par exemple les solidarités entre acteurs ou les contraintes entre relations (cf 3.1.2).

L'interprétation est l'inverse de la modélisation : interpréter un modèle, c'est construire l'ensemble des objets d'étude dont il est le modèle et qui donc, du point de vue de la théorie, du moins telle qu'elle a été formalisée, sont équivalents. Ce travail d'interprétation, indispensable, permet de s'assurer que chacun des éléments de l'objet d'étude a été traduit par l'instance de l'élément du méta-modèle qui convient.

7.5. Des résultats au terrain : validation du modèle

Enfin, le méta-modèle permet de définir des techniques d'étude analytique des propriétés de ses instances (cf. 3.2) qui produisent des résultats, ainsi que les simulations qui peuvent être menées sur la base de la rationalité dont les acteurs sont dotés (cf. 3.3). C'est essentiellement par l'intermédiaire de ces résultats que le sociologue peut valider ce modèle, et par là le méta-modèle à partir duquel il est produit. Notons que cela impose des contraintes très lourdes en termes de développement de l'outillage informatique : les propositions des informaticiens ne peuvent pas être validées telles quelles, elles doivent être implantées pour montrer concrètement les résultats de leurs applications à des cas concrets. La question est alors de savoir si les données disponibles sont correctement formalisées par les résultats et si ces derniers sont interprétables en termes de données, avérées ou vraisemblables. Dans le cas contraire, seront remis en cause la définition du SAC ou son modèle, ou bien, au niveau supérieur, la théorie ou sa formalisation.

Il ressort de cette démarche que la validation de la formalisation de la théorie discursive est essentiellement expérimentale, par la vérification de la cohérence entre les résultats et les données relatives à des objets particuliers ; en ce qui

¹⁰ Cela met en jeu les qualités du méta-modèle, par exemple le niveau d'abstraction ou l'orthogonalité de ses concepts, que nous ne discuterons pas ici.

concerne la SAO, cela peut être fait grâce aux nombreux cas d'écoles tels que ceux présentés dans (Bernoux, 1985).

8. Les apports scientifiques

8.1 Le point de vue des sociologues

Ces apports sont de trois ordres : théorique, épistémologique et méthodologique (Roggero, 2006).

Sur le plan théorique, le travail de formalisation conduit à une clarification drastique des concepts de la SAO. Cette clarification a permis aux sociologues de mesurer que les ambiguïtés de la langue naturelle devaient être levées pour accéder à un dispositif conceptuel clair et cohérent. Ce faisant ils ont été amenés, sous l'aiguillon permanent des informaticiens, à revisiter avec une rigueur inhabituelle pour eux leurs concepts comme par exemple celui de pouvoir.

Sur le plan épistémologique, les résultats produits par *SocLab* constituent une forme de validation inédite dans les travaux en SAO. En effet, comme Friedberg l'a écrit (Friedberg, 1993), la validité des connaissances produites dans ce domaine est évaluée lors et par la seule restitution des résultats aux acteurs. Ainsi les résultats seront considérés comme validés quand le chercheur aura pu anticiper les réactions des acteurs à l'occasion de leur restitution, notamment les oppositions de ceux qu'on décrit comme ayant du pouvoir. On peut ne pas se satisfaire d'une procédure de validation aussi peu contrôlée. Dans cette perspective, *SocLab* ouvre une manière beaucoup plus objectivée de valider les résultats obtenus. Il s'agit de considérer la proximité entre l'analyse empirique et les résultats de la formalisation. Dans le cas où une telle proximité existe, on peut considérer que le fonctionnement du modèle a confirmé la justesse de l'étude empirique qualitative. De plus, ainsi que Gilbert l'a écrit (Gilbert, 2004), la modélisation et la simulation nécessitant une « objectivation » forte des paramètres du modèle, tout chercheur peut vérifier les résultats obtenus en refaisant lui-même le travail, alors que dans une analyse purement qualitative, un chercheur peut très bien obtenir d'autres résultats tout en menant la même investigation. On voit ainsi que la démarche que nous proposons améliore la rigueur méthodologique du travail sociologique.

Sur le plan méthodologique enfin, les sciences sociales en général et la sociologie en particulier n'ont pas ou peu de caractère expérimental. Il s'agit d'une limite dont pour de nombreux sociologues¹¹ il faudrait s'accommoder. Telle n'est pas notre position. En effet, en simulant des SAC comme nous le faisons, on pratique une « expérience concrète de second genre » (Varenne, 2007). S'il ne prétend évidemment pas prendre en compte toute la complexité sociale, ce type d'expérimentation constitue néanmoins une esquisse de « laboratoire virtuel » pour le sociologue des organisations qui adhère aux fondements de la SAO (même s'il en

¹¹ Voir par exemple (Passeron, 1991).

reconnait les limites). En effet, grâce à la simulation sur *SocLab* on peut mettre en lumière comment un SAC parvient à l'état régulé constaté empiriquement mais il est possible d'aller plus loin en explorant, de manière inédite, les potentialités du système (Barrel, 1979). En d'autres termes, on peut examiner si le système étudié pourrait être régulé autrement en modifiant certains de ses paramètres initiaux. Le sociologue peut ainsi tester des *scenarii* plausibles d'évolution du système avec une grande facilité. Il génère de la sorte un volume considérable de données significatives qu'il lui serait impossible d'obtenir autrement, même au prix d'importants moyens financiers et humains. La plateforme *SocLab* ouvre d'autres pistes d'analyse telle que l'étude des états remarquables du système et des formes de rationalité des acteurs qui leur sont liées. Elle permet aussi de pratiquer une sociologie « expérimentale » au sens où l'on parle d'économie « expérimentale », en faisant jouer le « jeu social » à des personnes (si le module correspondant de *SocLab* a été développé, le protocole pour réaliser de telles expériences, prometteuses, n'est pas encore finalisé). De façon plus générale, nous pensons que la pratique de la simulation en sociologie, malgré ou grâce à son caractère réducteur, contribue à « durcir » les critères de scientificité que cette discipline peut s'appliquer, ce qui contribue à la rapprocher des disciplines traditionnellement plus expérimentales et formalisées. Il s'agit d'une condition nécessaire au développement des travaux interdisciplinaires que nous croyons aujourd'hui urgents.

Le travail sociologique réalisé s'est donc enrichi considérablement à travers la pratique et les résultats de cette collaboration interdisciplinaire. On peut même dire que l'identité du sociologue en ressort confortée. En effet, son rapport au terrain et la dimension interprétative ou herméneutique de sa pratique demeurent, ils sont « seulement » médiatisés par des outils plus rigoureux. Ainsi, par exemple, les résultats simulés n'ont de sens qu'interprétés sociologiquement. Ils n'ont donc pas vocation à remplacer le sociologue comme dans une sorte de « physique du social » mais à élargir sa palette méthodologique et à renforcer la rigueur de sa pratique scientifique. Il reste qu'en tant qu'outil de diagnostic organisationnel, l'utilisation de *SocLab* doit être contrôlée. Il n'est pas souhaitable que cet outil soit utilisé sans les précautions éthiques et déontologiques que Friedberg définit pour la SAO : maîtrise totale par le sociologue des résultats obtenus, indépendance à l'égard du commanditaires et partage de la démarche avec *tous* les acteurs de l'organisation étudiée. A ce titre, les principes définis par la charte Comnod nous semblent constituer une base d'inspiration pertinente, notamment quand elle dispose que : « Nous sommes [donc] aux prises avec un questionnement à la fois pragmatique et théorique. Cela implique la reconnaissance de l'incertitude dans la situation de décision et de l'existence de multiples points de vue légitimes, expertises scientifiques comprises. ».

Un développement de cette collaboration, à plus long terme et commun aux deux parties, serait de modéliser plusieurs théories sociologiques, par exemple la sociologie de l'imprévisible (Grossetti, 2004 ; Grossetti *et al.*, 2010), afin de permettre une comparaison de leurs objets d'étude et pouvoirs d'expression à l'aide

de techniques d'ingénierie des modèles, ce qui est radicalement impossible à partir de la formulation en langue naturelle de ces théories.

8.2 Le point de vue de l'informatique

Comme nous l'avons noté en introduction de la section 6, la sociologie de l'action organisée est une théorie très générale ayant potentiellement un large champ d'application : les caractéristiques constitutives d'un SAC se retrouvent dans nombre de systèmes complexes.

Outre un modèle de la coordination sociale dans les SMA, deux autres domaines d'application de l'approche présentée dans cet article sont envisageables. Le premier concerne les systèmes ouverts desquels les participants peuvent se retirer s'ils ne sont pas « satisfaits » des conditions ou de la qualité du service rendu, et se diriger vers un système concurrent. Les systèmes de ce type sont de plus en plus nombreux sur Internet, qu'il s'agisse de systèmes de recherche/fourniture d'informations (Quiané, 2008) ou des grilles de données ou de calcul. Le problème du médiateur qui assure la répartition des demandes et des offres de service est alors de répondre à leurs attentes respectives de façon satisfaisante. Le deuxième domaine concerne les logiciels de simulation de systèmes écologiques pour la gestion des ressources communes (eau, terres...), dans le contexte du développement durable. Ces systèmes disposent généralement d'une couche physique qui simule les réactions de l'environnement aux comportements des acteurs humains selon les politiques agro-économiques qu'ils suivent. L'enjeu est de doter ces systèmes d'une couche sociale pour rendre compte du comportement effectifs de ces acteurs (Theron *et al.*, 2008).

Par ailleurs, deux extensions de notre formalisation de la SAO sont en cours.

Sur la rationalité des acteurs

Le modèle de rationalité des acteurs implanté dans SocLab produit de très bons résultats alors qu'il ne demande de la part des acteurs que très peu de compétences cognitives et d'informations sur la structure et l'état du jeu social (en cela, il est cognitivement et socialement vraisemblable).

La caractérisation fine de l'état vers lequel il converge et des conditions de cette convergence en fonction de propriétés de la structure d'une organisation restent à faire (El Gemayel *et al.*, 2009) ; par exemple, il est remarquable que l'algorithme évoqué en 3.3 ne converge pas dans les jeux à somme nulle, ce qui est conforme à la SAO, mais les raisons profondes de l'absence d'émergence dans ce cas restent à élucider. Un autre objectif est de trouver d'autres modèles de rationalité des acteurs qui permettraient à une organisation de se stabiliser vers d'autres états tels que le ou les équilibres de Nash (chaque acteur joue défensif, de façon à s'assurer d'obtenir le maximum possible quel que soit le comportement des autres), une situation « égalitaire » (l'écart type entre les gains des acteurs est minimal) ou anti-égalitaire, ou d'autres encore.

Bref il s'agit, au-delà de l'utilitarisme qui est le plus souvent considéré comme étant le seul comportement rationnel (Boudon, 2008), d'explorer l'univers des rationalités¹² des acteurs sociaux, en partant de la finalité qui leur est propre à l'égard de la régulation de l'organisation. On pourra alors comparer ces rationalités en termes de rapidité de convergence, de qualité de leurs résultats, des capacités cognitives et de la quantité d'information qu'elles requièrent.

Sur l'évolution d'une organisation

La SAO considère la structure d'une organisation comme donnée et s'interroge sur la façon dont elle est régulée. Si elle reconnaît qu'une organisation est un « construit social », un produit du comportement des acteurs, elle ne s'interroge pas sur son évolution. S'il y a des facteurs exogènes à la transformation de la structure d'une organisation, il ne fait pas de doute qu'il existe aussi des facteurs endogènes : en « poussant le bouchon », chacun essaie plus ou moins de « tirer la couverture » à lui et ainsi de transformer les règles du jeu social.

Sur la base de travaux en théorie des organisations, il s'agit de s'interroger sur le processus de construction d'un système (Carley, 1991), d'identifier la nature de ses évolutions (potentielles) et les conditions selon lesquelles une évolution particulière est susceptible de se produire. L'étude des facteurs exogènes est limitée, car l'ajout ou le retrait d'éléments (acteurs ou relations) nécessite de re-normaliser les paramètres afin de conserver la sémantique des indicateurs et des mesures qui en découle ; en l'état actuel du méta-modèle, elle se limite à la présence de relations dont l'état n'est pas contrôlé par l'un des acteurs de l'organisation mais par son environnement. En revanche, l'étude de l'impact des facteurs endogènes est réalisable dans le cadre de notre formalisme. En permettant aux acteurs de modifier les caractéristiques de la structure de l'organisation (marge de manœuvre, enjeux et solidarité notamment), nous introduisons la possibilité de modifications qui tirent partie de la nature essentiellement cognitive¹³ de la structure des organisations.

Le programme de recherche que nous avons présenté dans cet article est loin d'être clos. Au-delà des perspectives évoquées ci-dessus, de nombreux aspects restent problématiques – par exemple la prise en compte du flou et de l'imprécision dans les enjeux, les solidarités mais aussi les fonctions d'effet et les contraintes (Sandri *et al.*, 2007 ; Sandri *et al.*, 2008 ; Ruybal Dos Santo *et al.*, 2008), l'agrégation des préférences pour le calcul de la satisfaction et du pouvoir des acteurs (Grabisch *et al.*, 2003), la prise en compte des dimensions émotionnelles et mimétiques du comportement des acteurs, l'analyse statistique des résultats de simulation et de l'analyse de sensibilité (ACP, corrélations multiples...) pour mettre en évidence les différents modes de régulation d'une organisation ou les interdépendances entre les acteurs ou les relations, ou enfin l'emboîtement des jeux

¹² Rationnel étant alors pris dans le sens où l'acteur a de *bonnes raisons* de ce comportement comme il le fait.

¹³ Au sens où, hormis pour les fonctions d'effet, la structure d'une organisation réside principalement dans la tête des ses membres.

d'acteurs, un acteur collectif tel que le Conseil Régional de Midi Pyrénées pouvant être analysé comme un SAC dans le contexte du SAC Concert'eau. Enfin, des techniques relevant de l'ingénierie des modèles pourraient être utilisées pour mettre en relation les méta-modèles de différentes théories des organisations (Grossetti *et al.*, 2010).

9. La pratique de l'interdisciplinarité : deux disciplines aux antipodes

Tout ou presque sépare sociologues et informaticiens : la culture (à dominante littéraire vs dominante scientifique, le langage utilisé (langue naturelle vs langage formel), l'orientation méthodologique (induction et pratique du terrain vs déduction et abstraction), la nature et la portée des connaissances produites (idiosyncrasie et attachement au contexte vs nomothétie ou connaissances de portée générale), les critères et processus de validation des résultats (le protocole d'obtention des résultats vs leur domaine d'application), etc. La collaboration entre praticiens de ces deux disciplines nécessite donc une acculturation mutuelle, investissement d'autant plus coûteux que ces disciplines sont éloignées l'une de l'autre. Si, dans ce projet, les informaticiens n'en sont pas devenus sociologues et inversement, les sociologues informaticiens, ils ont acquis une réelle familiarité avec la culture, le langage, les modes de raisonnement et les pratiques scientifiques des autres.

La sociologie est pour une large part une discipline de terrain qui s'attache à décrire des situations ou phénomènes précis (l'éducation, la vieillesse, la consommation, etc.¹⁴) en les contextualisant par la prise en compte des nombreux déterminants exogènes dont ils sont l'objet. Le discours du sociologue n'est jamais systématisant, mais empreint de nuances, très attaché à l'herméneutique de l'objet qu'il considère. De ce fait, l'informaticien est démuné face à un « récit » dont il lui faut identifier le cadre théorique, fondé sur des postulats épistémologiques dont l'explicitation est longue, à partir duquel il est produit. Chaque fois qu'il pense avoir dégagé un concept de la théorie et en propose une formalisation, il lui faut en expliciter toutes les conséquences afin de s'assurer que toutes les interprétations de cet éléments formel font sens dans la théorie sociologique.

Pour sa part, le discours de l'informaticien est abstrait, systématisant, manipulant volontiers des entités et expressions mathématiques et leurs relations formelles, et tenant les exemples applicatifs comme secondaires.

La démarche a tout d'abord suscité des réserves de la part des sociologues. Ces derniers, habitués à l'approche qualitative de leurs « terrains » et tenant aux nuances et ambiguïtés de la langue naturelle, ont cru pendant un temps que la dimension herméneutique de leur pratique n'avait pas sa place dans cette démarche et que l'abstraction simplificatrice était une réduction outrancière. Le travail de formalisation des principaux concepts de cette théorie discursive a représenté une

¹⁴ Pour en donner une idée, l'Association Française de Sociologie est constituée de 43 réseaux thématiques

véritable ascèse pour les sociologues. Dans un premier temps, un modèle ne pouvait à leurs yeux que produire que des résultats tautologiques. Ces réserves ont été levées à partir du moment où ils ont compris la portée des résultats, notamment ceux de la simulation, qu'il était possible de produire à partir du modèle d'une organisation. Cela a été possible grâce à l'amélioration de l'ergonomie de la plateforme et à la pratique de la modélisation de cas organisationnels pédagogiques. S'appropriant le méta-modèle et mettant en œuvre la modélisation, ils ont pu mesurer l'intérêt et la fécondité de l'outil pour le travail sociologique.

La quantification a représenté pour les sociologues une réelle difficulté. Habitues à décrire et évaluer qualitativement les éléments constitutifs d'un SAC, ils ont pu considérer qu'il y avait une forme d'arbitraire à quantifier des notions telles que les enjeux, le pouvoir ou les fonctions d'effet. Comment évaluer, par exemple, qu'un acteur place 2 points d'enjeu plutôt que 3 sur une relation ? Si le travail sur le flou a pu contribuer à les rassurer, c'est surtout quand ils ont développé des études empiriques par la modélisation qu'ils ont trouvé une solution qui leur a semblé moins arbitraire : ils ont demandé aux acteurs eux-mêmes d'évaluer les principaux paramètres du méta-modèle, ce que ces derniers ont su faire sans difficulté.

Compte tenu de la rareté de ce type de collaboration sociologie-informatique, il peut être intéressant d'indiquer les facteurs qui l'ont, en l'espèce, rendu possible. A la lumière de notre expérience, nous avons pu identifier au moins quatre facteurs importants dans la réalisation d'une telle collaboration. Le premier réside dans l'intérêt de chacune des parties pour ce que fait et représente l'autre, cette familiarité étant renforcée par une proximité épistémologique qui facilite la collaboration en l'installant dans le cadre d'une mutuelle adhésion sur l'essentiel : pour nous ce fut la pensée complexe. Le deuxième facteur est l'engagement à long terme des chercheurs. Cet engagement est favorisé par l'attachement de doctorants à cette collaboration. Le troisième facteur se trouve dans l'acceptation d'un investissement cognitif important de part et d'autre. Force est de constater que ce type d'investissement présente un risque pour le chercheur qui l'accepte dans la mesure où il s'investit dans un domaine nouveau en étant, plus que d'habitude, incertain des résultats à venir. Et, enfin, dernier facteur, la proximité géographique des partenaires qui facilite les interactions.

10. Conclusion

L'informatique est une discipline familière de la formalisation et de l'outillage de divers domaines de la connaissance ou de l'activité humaine : traitement du signal, des formes visuelles, du langage naturel, les systèmes d'information, le contrôle de procédés, etc. Dans la plupart des cas, ces objets sont présentés sous une forme déjà assez bien formalisée par les théories des disciplines qui leur ont donné naissance. Ce qui semble être une singularité des objets proposés par la sociologie c'est qu'ils sont informels par essence, le social échappant à tout discours totalisant.

A vouloir trop formaliser et spécifier les différentes facettes d'un objet social, le risque est grand couper les cheveux en quatre et de tomber dans le syndrome de l'« usine à gaz ». Le difficulté principale est donc de trouver les quelques bonnes abstractions, celles qui assurent un pouvoir d'expression qui permet de rendre compte des subtilités de la théorie (par exemple : les frontières d'une organisation sont floues, ce qui fait que les acteurs ont des degrés d'engagement différents dans son fonctionnement) tout en restant raisonnablement simples. De ce point de vue, les meilleures abstractions sont celles qui, se prêtant à de multiples interprétations, permettent de traiter plusieurs aspects et dont on découvre, au fil du temps, qu'elles recèlent des possibilités d'expression que l'on n'avait pas soupçonnées. C'est, nous semble-t-il, ce qui permet à l'inévitable réduction qui accompagne toute formalisation de respecter la complexité de ce dont il est question.

Puisque formaliser c'est abstraire et donc simplifier, il faut bien admettre qu'il est illusoire de rendre compte de toute la complexité du social. Ce n'est pas pour autant renoncer au paradigme de la complexité qui tout à la fois reconnaît la légitimité de la simplification et ne confond pas l'objet avec son modèle.

Bibliographie

- Adreit F., Roggero P., Sibertin-Blanc C., Vautier C., « Prendre en compte la dimension sociale dans un projet de développement durable : fondements et utilisation du système Soclab », *Systèmes d'Information et de Décision pour l'Environnement*, SIDE'09, Toulouse, 26 mai, p. 5-14, 2009. OU MASH???
- Amiguet M., Muller J.P., Baez J., Nagy A., « La plateforme MOCA : conception de SMA organisationnels à structure dynamique », *Systèmes multiagents et systèmes complexes : ingénierie, résolution de problèmes et simulation*, Actes des JFIADSMA'02, Lille, 28-30 octobre 2002, Hermès, p. 151-154.
- Barel Y., *Le Paradoxe et le Système. Essai sur l'imaginaire social*, Grenoble, PUG, 1979.
- Bernoux Ph., *Sociologie des organisations*, Paris, Seuil, 1985.
- Boudon R., *Essais sur la théorie générale de la rationalité action sociale et sens commun*, PUF (Paris), 2008.
- Carley K., « A Theory of Group Stability », *American Sociological Review*, 56(3), 1991, p. 331-354.
- Castelfranchi C., Conte R., « From conventions to prescriptions. Towards a unified theory of norms », *AI&Law*, N°7, pp.323-340, 1999.
- Chapron P., Centralités dans les réseaux d'acteurs d'un système d'action concret. *Modèles et Apprentissage en Sciences Humaines et Sociales (MASHS 2009)*, Toulouse, 8-9 juin 2009, N. Villa, B. Jouve, F. Adreit, F. Amblard (Eds.), 2009.
- Commod, <http://www.commod.org>, consulté le 13/1/2009.
- Conte, R., Paolucci, M., Sabater Mir, J., « Reputation for Innovating Social Networks », *Advances in Complex Systems*, 11(2), pp. 303-320, 2008.

- Crozier M., *Le phénomène bureaucratique. Essai sur les tendances bureaucratiques des systèmes d'organisation modernes et sur leurs relations en France avec le système social et culturel*, Paris, Seuil, 1963.
- Crozier M., Friedberg E., *L'acteur et le système. Contraintes de l'action collective*, Paris, Seuil, 1977.
- El-Gemayel J., Sibertin-Blanc C., Chapron P., « Impact of tenacity upon the Behaviors of Social Actors », *Applied Agent based simulator Engineering for Complex System study*, Nagoya, Japan, 13/12/2009, Alexis Drogoul, Benoit Gaudou, Nicolas Marilleau (Eds.), 2009.
- Ferber J., Michel F., Baez J., « AGRE: Integrating environments with organizations », *Environments for Multiagent Systems*, D. Weyns, V. Parunak, and F. Michel (eds.), LNCS Vol. 3374. SpringerVerlag, 2005.
- Friedberg E., *Le Pouvoir et la Règle. Dynamiques de l'action organisée*, Paris, Seuil, 1993.
- Gilbert N., « Quality, Quantity and the Third Way », *Methods in Development Research: Combining Qualitative and Quantitative Approaches*, London, ITDG Publications, 2004.
- Grabisch, M., Perny, P., « Agrégation multicritère », B. Bouchon-Meunier, C. Marsala (Eds), *Logique Floue, principes, aide à la décision*, Paris, Hermès, 2003, p. 81-120.
- Grossetti, M., *Sociologie de l'imprévisible. Dynamiques de l'activité et des formes sociales*, PUF, Paris, 2004.
- Grossetti, M., Sibertin-Blanc C., « Une formalisation des configurations de l'imprévisible : dialogue entre un sociologue et un informaticien », Rapport IRIT RR--2010-11-FR, 2010.
- Hübner J. F., Sichman J. S., and Boissier O., « A Model for the Structural, Functional, and Deontic Specification of Organizations in Multiagent Systems », *XVI Brazilian Symposium on Artificial Intelligence - SBIA'02*, Porto de Galinhas (Recife), 1-14 November 2002, Brazil, G. Bittencourt (Ed), LNCS 2507.
- Kubera Y., Mathieu Ph., Picault S., « InteractionOriented Agent Simulations: From Theory to Implementation », *ECAI 2008*, 2008.
- Maillard M., *Formalisation multi-Agents de la Sociologie de l'Action Organisée*, Thèse de doctorat en informatique de l'Université de Toulouse, décembre 2008.
- Maillard M., Audras S., Casula M., « Multi Agents Systems based on Classifiers for the Simulation of Concrete Action Systems », *Proceedings of the 1st European Workshop on Multi-Agent Systems (EUMAS)*, Oxford University, 2003. Voir aussi www.soclab.univ-tlse1.fr
- Morin, *La Méthode, t.1- t. 6*, Paris, Seuil, 1977-2004, 2080 p.
- Morgenstern, O., von Neumann, J., *The Theory of Games and Economic Behavior*, 3rd ed., Princeton University Press 1953.
- Passeron J.-C., *Le raisonnement sociologique. L'espace non-poppérien du raisonnement naturel*, Paris, Nathan. 1991.
- Quiané J., Lamarre P., Valduriez P., « A Self-Adaptable Query Allocation Framework for Distributed Information Systems », *Vldb Journal*, 18(3), p. 649-674, 2009.

- Roggero P., *De la complexité en sociologie : évolutions théoriques, développements méthodologiques et épreuves empiriques d'un projet sociologique*, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en sociologie, Université de Toulouse 1, 2006.
- Roggero P., Sibertin-Blanc C., « Quand des sociologues rencontrent des informaticiens : essai de formalisation des systèmes d'action concrets », *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, Vol. 3 N. 2, pp. 41-81, Prise de parole (Ontario), 2008.
- Roy, B., *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica, Paris, 1985.
- Ruybal Dos Santos C. L., Sandri S., Sibertin-Blanc C., « A Partial-View Cooperation Framework Based on the Sociology of Organized Action », *International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2008)*, Barcelona, 13- 16 juin, INSTICC Press, p. 553-559, 2008.
- Sandri S., Sibertin-Blanc C., « Transposing the Sociology of Organized Action into a fuzzy environment », *European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU 2007)*, Hammamet, Tunisie, 31 oct -02 nov 2007, H. Mellouli (Eds.), Springer-Verlag, LNAI 4724, 2007, p. 791-802.
- Sandri S., Sibertin-Blanc C., Torra V., « A Multicriteria Fuzzy System Using Residuated Implication Operators and Fuzzy Arithmetic », *IEEE International Conference on Pervasive Systems (MAPS 2007)*, Kitakyushu, Japon, 16-18 août 2007, Vol. 4617, V. Torra, Y. Narukawa, Y. Yoshida (Eds.), Springer-Verlag, LNAI, 2007, p. 57-67.
- Sandri S., Sibertin-Blanc C., « A Multicriteria System using FUuzzy Gradual Rule Bases and Fuzzy Arithmetic », *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, World Scientific Publishing, 2008.
- Sibertin-Blanc C., « Modèles formels pour la reproduction des simulations à base d'agents », *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 5, 2, pp. 41-81, Prise de parole (Ontario), 2010.
- Sibertin-Blanc C., Amblard F., Mailliard M., « A coordination framework based on the Sociology of Organized Action », *Coordination, Organizations, Institutions and Norms in Multi-Agent Systems*, O. Boissier, J. Padget, V. Dignum, G. Lindemann (Eds.), p. 3-17, LNCS 3913, Springer, 2006.
- Sibertin-Blanc C., Roggero P., Adreit F., Chapron P., El Gemayel J., Mailliard M., Sandri S., Vautier C., « Une formalisation de la sociologie de l'action organisée : méta-modèle, simulation et étude analytique », Rapport IRIT RR--2010-10-FR, 2008.
- Sibertin-Blanc C., « A Model-based Process for Simulation in Social Sciences », soumis à publication.
- Simon H. A., *Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel*, 1981, trad. J-L Le Moigne, Paris, Dunod, 1991.
- Sutton R.S., Barto A. G., *Reinforcement Learning: An Introduction*, MIT Press, Cambridge, MA, 1998.
- Varenne F., *Du Modèle à la Simulation Informatique*, Vrin, 2007.
- Vautier C., Roggero P., Adreit F., Sibertin-Blanc C., « Evaluation by simulation of the social acceptability of agricultural policies for water quality », 4^{ème} *International ICSC*

symposium on Information Technologies on Environmental Engineering, ITEE'09, Springer-Verlag, p. 478-490, Thessaloniki, 26-27 may 2009.