

Extension de la rationalité d'agents collaboratifs

Rapport de Master 2 Recherche
Interaction, Coopération et Systèmes Complexes (ICSC)
à l'Université Paul Sabatier (UPS) – Toulouse III
15 juin 2009

Rémy Cazabet

Laboratoire d'accueil : Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT)
Responsables de stage : Christophe Sibertin-Blanc, Paul Chapron
Equipe d'accueil : Systèmes Multi-Agents Coopératifs (SMAC)

Mots-clés : SMA, Sociologie de l'Action Organisée, évolution

Résumé : Les systèmes multi-agents ont de nombreuses applications, parmi lesquelles on peut compter la simulation de phénomènes sociaux. Il peut s'agir de simulation de comportements d'animaux sociaux, ou de comportements humains, éventuellement en s'appuyant sur des théories sociologiques.

L'équipe SMAC a conçu un modèle basé sur la théorie de la Sociologie de l'Action Organisée (SAO) permettant de simuler le jeu social qui se déroule au sein de toute organisation à l'aide d'agents dotés d'une rationalité limitée. Les premiers résultats satisfaisants conduisent naturellement à chercher à étendre les possibilités d'action et la rationalité des acteurs afin de faire apparaître de nouvelles structures organisationnelles.

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Christophe Sibertin-Blanc, tout d'abord d'avoir été mon encadrant pour la réalisation de ce projet, mais aussi pour sa disponibilité, ses conseils, ses avis toujours pertinents et ses relectures, éléments qui ont tous apporté beaucoup à mon travail.

Je remercie également Paul Chapron, qui lui aussi a consacré beaucoup de temps à m'encadrer, à m'expliquer ce que j'avais besoin de savoir et à répondre à mes questions, même lorsqu'elles manquaient de clarté.

Je remercie tous les occupants du bureau 310, pour leur convivialité et leur accueil tout au long de ce stage.

Enfin je remercie également tous les membres de l'équipe SMAC pour leur gentillesse proverbiale, et en particulier la responsable, Marie-Pierre Gleize, pour son soutien dans mon souhait de continuer en thèse au sein de l'équipe.

Merci sincèrement à tous.

État de l'art	5
Simulations Multi-agents en sciences sociales.....	5
Sociologie des organisations.....	7
Présentation de la sociologie de l'action organisée	7
La rationalité limitée des acteurs	7
La formalisation de la SAO : le méta-modèle.	9
LA STRUCTURE D'UNE ORGANISATION.....	9
Les Ressources et leurs relations	9
Les acteurs et leurs enjeux.....	11
Capacité d'action (ou « satisfaction ») et pouvoir d'un acteur.....	12
Modèle de régulation : système de règles.....	13
Les principaux cas concrets utilisés comme exemples.....	15
Le dilemme du prisonnier.....	15
Cas plus complexe : la cas Bolet.	16
Recherche d'un algorithme pour l'évolution de la structure d'une organisation : approche par recuit simulé.	19
Principe général de la simulation.....	19
Caractérisation des actions des acteurs.....	20
Etude préliminaire par une rationalité minimale	21
Effets du taux de variation d'enjeux.....	22
Influence des conditions initiales	24
Recuit simulé	27
Implantation.....	28
Tests de la métaheuristique.....	29
Analyse de l'efficacité de la simulation.....	32
Problèmes constatés.....	33
Cas plus complexe : la cas Bolet.	33
Question de l'efficacité du recuit simulé.....	39

amélioration du recuit simulé : mise à jour de la satisfaction de référence.....	42
Influence de l'imprécision des régulations.....	44
Encore un problème de maximum local ?	45
Conclusions sur le recuit simulé.....	45
Recherche d'un algorithme pour l'évolution de la structure d'une organisation : approche par système de règles.....	47
Implantation du système à base de règles.....	47
Première étape : modification de ses propres enjeux.....	49
Première proposition : modification d'un enjeu avec répartition de la différence sur les autres enjeux.....	49
Modification de deux enjeux selon le principe des vases communicants.....	50
Répartition des enjeux « au mieux ».....	50
Comparaison du recuit simulé et du système de règles	51
Approche par agents cognitifs	52
Modifications des enjeux des autres acteurs.....	54
Implantation de la modification des enjeux des autres.....	54
Première étape : un seul acteur modifie les enjeux des autres.....	55
Modification simultanée pour tous les acteurs	55
Corrélation entre pouvoir et satisfaction.....	56
Conclusion	60
Bilan.....	60
Perspectives	60
Bibliographie.....	62

Introduction

La branche simulation de l'équipe SMAC travaille maintenant depuis plusieurs années sur un projet faisant appel à la fois à la théorie des systèmes multi-agents et à une théorie sociologique. Cette théorie, la Sociologie de l'Action Organisée (SAO), a été développée par M. Crozier et E. Friedberg [Crozier, Friedberg, 1977] ; il s'agit d'une théorie reconnue, largement enseignée et utilisée, par exemple par des consultants afin d'analyser l'origine des dysfonctionnements d'une organisation sociale ou pour la gestion du changement (entreprise, ...).

Ce projet a donné lieu au développement d'un modèle de formalisation et, basé sur ce formalisme, à l'environnement « SocLab », qui permet de décrire la structure d'une organisation, d'explorer l'espace des états et les propriétés de cette structure, et de trouver, par simulation du comportement des acteurs sociaux (par apprentissage essais erreurs selon une rationalité limitée du comportement leur permettant de se rapprocher de leurs objectifs), comment une coopération peut s'établir entre des acteurs ayant des intérêts conflictuels au sein de cette organisation.

La première étape de toute utilisation de l'environnement SocLab à l'heure actuelle est de définir une structure, la structure de l'organisation, contenant un certain nombre de paramètres tels que les acteurs qui la composent et les relations qu'ils contrôlent. On peut ensuite travailler sur cette structure en lançant une régulation, qui va aboutir à un état stable pour lequel l'organisation est régulée, mais la structure telle qu'on la définit ne peut pas être modifiée par cette régulation. Les acteurs n'ont aucun loisir de modifier les « règles du jeu ».

L'objectif du stage était d'aborder la question de l'évolution endogène de toute organisation sociale, en permettant aux acteurs de modifier ces « règles du jeu » de manière à faire évoluer cette organisation vers une nouvelle structure « meilleure » du point de vue de leur fonction d'utilité (à savoir leur satisfaction, c'est à dire leur capacité à réaliser leurs objectifs). Les deux objectifs étaient donc, d'une part de trouver un algorithme de simulation du comportement des acteurs d'une organisation leur permettant de faire évoluer la structure de cette organisation, et d'autre part d'étudier le comportement des acteurs et les mécanismes d'évolution qui apparaîtraient une fois cette évolution réalisée.

1 État de l'art

Une particularité du sujet qui m'était proposé était le double ancrage théorique auquel il faisait appel. D'une part, la conception à base d'agents ayant des buts et des moyens d'actions propre fait appel à la théorie des systèmes multi-agents. D'autre part, le méta-modèle sur lequel est basé ce système multi-agent est une formalisation d'une théorie sociologique reconnue, la théorie de la Sociologie de l'action organisée.

1.1 Simulations Multi-agents en sciences sociales

Dès les débuts des systèmes multi-agents, l'idée de les utiliser dans le cadre de simulations c'est naturellement imposée. Ces systèmes sont en effet, par leur nature, particulièrement adaptés pour représenter les phénomènes n'étant pas le produit d'une décision centralisée, mais au contraire la résultante du comportement individuel de nombreuses entités, que ces entités soient ou non dotées de capacités cognitives ou réflexives. On trouve ainsi trois grands type de simulations :

- Les simulations de phénomènes naturels, par exemple pour modéliser la propagation d'incendies de forêt [Etienne, 2003] ou pour la prédiction de crues [Sontheimer, 2001].
- Les simulations de comportements animaux, tels que les emblématiques colonies de fourmis, ou la simulation du déplacement de bancs de poissons.
- Les simulations de phénomènes socio-ethnologiques. C'est dans cette dernière catégorie qu'entre notre travail.

L'idée d'utiliser l'informatique pour la simulation dans le domaine des sciences sociales n'est pas une idée nouvelle. Avant même l'apparition des SMA, il existait des méthodes, par exemple à base d'objets, qui permettaient de faire des simulations. Mais progressivement elles se sont vu remplacées par les modélisations multi-agents, qui sont capables de s'adapter à tous types de domaines, et qui possèdent une capacité à appréhender des modèles très différents d'individus, des entités très simples (par le biais d'agents réactifs) aux entités plus complexes (à l'aide d'agents cognitifs). Dans le cas de simulations de phénomènes sociaux humains, on peut se poser la question de savoir si des agents, inévitablement simples, peuvent simuler efficacement le comportement d'acteurs aussi complexes que des êtres humains. Le phénomène social à simuler étant un phénomène émergeant des interactions des acteurs, on peut admettre que même des agents relativement simples seront capable de simuler ces comportements, la complexité apparaissant par

émergence [Squazzoni 2008]. C'est pourquoi depuis les années 90, on a pu assister à une explosion du domaine de la simulation dans les sciences sociale.

Le potentiel est en effet énorme : si l'on peut produire un modèle qui permet de simuler un comportement, il est possible de simuler l'évolution de ce comportement et donc de prévoir comment une foule, une population ou une organisation évoluerons, d'étudier des phénomènes sociaux avec la souplesse qu'offre l'outil informatique, donc sans les contraintes inhérentes à tout travail sur l'humain, qui était auparavant la seule ressource de ceux qui étudiaient les sciences sociales.

L'outil informatique permet ainsi [Gilbert, Troitzsch, 2005] :

- D'observer des propriétés qui sont difficiles à observer dans la nature,
- D'observer des alternatives aux phénomènes naturels,
- D'avoir accès à tous les paramètres, on résout ainsi les questions matérielles, éthiques ou les questions d'échelles,
- De répéter et mémoriser les observations autant de fois qu'on le souhaite,
- De répéter des observations sans modifier les comportements.

Bien que tous les sociologues ne soient pas favorables à l'usage systématique de la simulation, celle-ci pouvant être perçue (et parfois à raison) comme trop réductrice, les avantages certains qu'elle apporte, et les résultats quelle a déjà produit, en font aujourd'hui une méthode incontournable dans les sciences sociales. Pour la validation de théories suffisamment simples par exemple, il est possible de les tester sur des sociétés artificielles parfaitement contrôlées, pour lesquelles on maîtrise tous les aspects, et de tester très facilement autant de variantes que l'on veut sur autant de populations différentes. Ce qui demanderait un travail beaucoup plus important (le plus souvent impossible) si l'on voulait faire la même chose en étudiant réellement des populations humaines.

Le problème majeur auquel les sociologues sont confrontés aujourd'hui se situe au niveau de la formalisation des théories sociologiques. En effet celles-ci sont généralement formulées de manière discursives, et il est indispensable pour les implanter dans une simulation multi-agents de traduire cette formulation en un formalisme précis, étape délicate qui seule peut garantir la validité de la simulation informatique.

1.2 Sociologie des organisations

Bien évidemment, compte tenu du temps limité dont je disposais pour le stage, il était convenu que je n'aurais pas à maîtriser toutes les notions purement sociologiques sous-jacentes au modèle. Mon travail portait sur le système multi-agent implanté dans SocLab, son comportement et ses évolutions. Cependant, le lien avec la théorie de la SAO étant un élément clef de ce modèle, il était indispensable d'en acquérir les bases.

1.2.1 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 dont la fécondité n'est pas discutée. Ce corpus sociologique est l'un des plus enseignés en France tant aux spécialistes qu'aux non spécialistes, notamment les futurs cadres dirigeants [P. Roggero, C. Vautier, 09].

Il s'agit de découvrir le fonctionnement réel d'une organisation au-delà des règles formelles qui le codifient. 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 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 d'une ressource nécessaire à l'action d'autrui et dont il maîtrise, au moins partiellement, l'accès. Cette maîtrise lui permet à la fois de fixer, dans une certaine mesure, les « termes de l'échange » dans la relation avec autrui et de rendre son comportement plus ou moins imprévisible. 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. Si la sociologie de l'action organisée peut être appliquée à toutes les formes d'action « organisée », son domaine de prédilection reste les organisations à savoir des ensembles assez fortement codifiés, assez précisément délimités, où les acteurs sont durablement ensemble et où il existe un objectif – celui de l'organisation – partiellement différenciable des objectifs de chaque acteur.

1.2.2 La rationalité limitée des acteurs

Un point clef de la SAO est la notion de rationalité limitée des acteurs, qu'il est important de bien comprendre afin de respecter, lors des modifications que l'on va apporter aux comportements des

acteurs dans notre système, un principe essentiel de ce projet de recherche : modéliser le comportement des acteurs de façon vraisemblable aux points de vue cognitif, social et psychosocial. D'après [Lafaye 96], tous les membres d'une organisation, quelle que soit leur position, ont une vision partielle de cette organisation. Cela permet donc d'expliquer pourquoi les acteurs ont un comportement qui peut paraître irrationnel à un observateur extérieur « omniscient » : l'agent agit de la manière qui lui semble la plus raisonnable avec la vision dont il dispose. Les acteurs ne vont pas non plus chercher à atteindre la solution optimale, parce qu'ils n'en auront pas le temps, et qu'ils n'ont pas les informations et capacités cognitives nécessaires pour cela. En lieu de quoi, les acteurs, puisqu'ils ne peuvent connaître la solution optimale, s'arrêtent à la première solution jugée satisfaisante qu'ils rencontrent.

2 La formalisation de la SAO : le méta-modèle.

Mon travail étant basé sur la formalisation de la théorie de la SAO faite par l'équipe SMAC, et implantée dans le logiciel SocLab, il est indispensable pour comprendre mon travail de comprendre cette formalisation, et le méta-modèle qui en découle. Ce chapitre est donc consacré à la présentation des éléments clefs du modèle.

2.1 LA STRUCTURE D'UNE ORGANISATION.

Nous pouvons représenter par un diagramme UML [P. Roggero, C. Vautier, 09] le méta-modèle de la structure des systèmes d'action concrets, dont les éléments constitutifs sont des *acteurs* et des *relations*, reliés par les associations *contrôle* et *dépend* (Fig. 1).

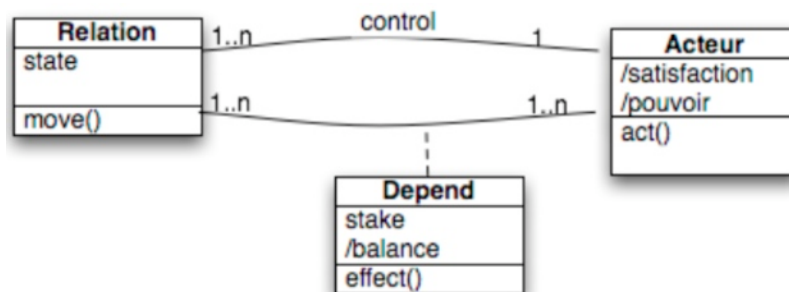


Fig. 1 – Le méta-modèle de la structure des systèmes d'action concrets

Les entités actives sont les *acteurs*, les objets qu'ils manipulent les *relations* et les opérations qu'ils peuvent réaliser consistent à *déplacer* l'état de *relations*. Chaque *relation* est contrôlée par un unique *acteur* qui est le seul à pouvoir *déplacer* son *état*, qui correspond au comportement de l'acteur dans sa gestion de la ressource. Chaque acteur place de plus un certain *enjeu* sur certaines relations dont il *dépend*, en fonction de l'importance de cette ressource pour la réalisation de ses objectifs. Dans ce cas, il en obtient un certain solde, qui est déterminé par l'application de la fonction *d'effet* à l'état de la *relation*. Finalement, il en résulte pour l'*acteur* une certaine *satisfaction*, agrégation des enjeux et des soldes qu'il reçoit sur les *relations* dont il dépend, et un certain *pouvoir*, agrégation des satisfactions qu'il attribue aux *acteurs* qui dépendent des *relations* qu'il contrôle.

Revenons plus en détail sur chacun de ces éléments.

2.1.1 Les Ressources et leurs relations

Chaque *relation* repose sur une ressource de l'organisation (Fig. 2).

Les *Ressources* d'un système d'action concret sont, dans le sens le plus large du terme, les éléments nécessaires à l'action organisée dont la disponibilité est requise ou utile pour réaliser certaines

actions. Chaque *Ressource* donne lieu à une (ou plusieurs) *relation* entre *acteurs*. Une *relation* correspond à un certain type de transactions concernant la *Ressource* sur laquelle elle est fondée, et elle est déséquilibrée : un acteur – l'un de ceux qui maîtrisent la *Ressource* – contrôle cette relation, tandis que d'autres acteurs – ceux qui en ont besoin pour atteindre leurs objectifs – sont contrôlés, dominés, ou encore dépendants dans cette *relation*. En effet, c'est l'*acteur* qui contrôle la *relation* qui détermine dans quelle mesure la *Ressource* est accessible par les autres et ainsi contrôle la possibilité pour les *acteurs* dépendants de réaliser leurs objectifs. L'idée que la relation de pouvoir est toujours déséquilibrée est centrale dans la sociologie de l'action organisée, il y a toujours un acteur en position de force dans une relation. Mais cette dépendance est réciproque, le dominé a toujours les moyens de monnayer, 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* c.

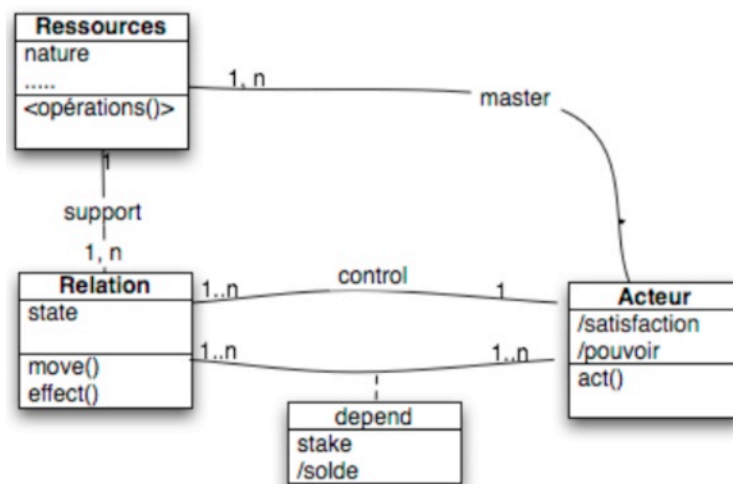


Fig. 2 - Les ressources, fondements des relations

L'état d'une *relation* caractérise le comportement de l'*acteur* qui contrôle cette *relation*, la façon dont il la gère, et correspond donc à la notion de « termes de l'échange » de la SAO.

Un *acteur* adopte un nouveau comportement en modifiant son comportement précédent dans le sens d'une plus grande ou plus faible coopération et non pas indépendamment de ce dernier.

L'état d'une *relation* détermine dans quelle mesure chacun des *acteurs* qui en dépend peut accéder à la *ressource* sous-jacente et l'utiliser en fonction de ses objectifs propres. Cet état lui procure une certaine « capacité d'action » pour atteindre ses objectifs, appelé le *solde*. Ce terme désigne le résultat de la transaction pour un acteur qui résulte, et se distingue, des « termes de l'échange ». Ce

solde correspond à la qualité de la disponibilité de la *Ressource* ; plus le *solde* pour une *relation* sera élevé, plus ou mieux la *Ressource* sera utilisable par l'*acteur*. La graduation des soldes se fait arbitrairement sur une échelle de -10 à 10 :

pire cas = -10, *extrêmement mauvais* = -8, ..., *neutre* = 0, *assez bon* = 2, ...*optimal* = 10

La valeur des soldes selon l'état d'une *relation* est déterminée par une *fonction d'effet* qui dépend de la nature de cette relation :

$$\text{Effet}_r : A * EC_r \longrightarrow [-10, 10],$$

où A est l'ensemble des *acteurs* et EC_r l'espace de choix de la *relation* r.

Le choix (par l'*acteur* contrôleur) d'une valeur $e \in EC_r$ dans l'espace de choix de la *relation* r se traduit donc par un solde $\text{Effet}(a,e)$ pour l'*acteur* a.

2.1.2 Les *acteurs* et leurs *enjeux*

Chacune des *relations* auxquelles est lié un acteur a plus ou moins de valeur à ses yeux, c'est ce que traduit la notion d'*enjeu*. Chaque acteur répartit des *enjeux* sur certaines *relations*, y compris celles qu'il contrôle, en fonction de ses *objectifs* : plus l'usage de la ressource accessible via la relation est nécessaire pour atteindre un objectif important, plus l'*acteur* place un *enjeu* élevé sur cette *relation*. La distribution des *enjeux* sur une échelle de valeurs numériques, et non pas seulement qualitative, permet de dégager des indicateurs synthétiques et interprétables sociologiquement. On peut graduer les enjeux sur une échelle de 0 à 10, là encore arbitraire :

nul = 0, *négligeable* = 1, ..., *important* = 5, ... *vital* = 10.

De plus, chaque *acteur* se voit attribuée la même quantité de points d'*enjeux* à répartir, fixée arbitrairement à 10, selon l'idée que tous les acteurs d'une organisation ont le même investissement dans le jeu social, quelle que soit leur position. Cette quantité d'enjeu devra être conservée, en particulier lorsque les acteurs auront la possibilité de modifier la façon dont ils attribuent leurs enjeux.

2.1.3 Capacité d'action (ou « satisfaction »)¹ et pouvoir d'un acteur

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* auxquelles il participe, d'une combinaison de son *enjeu* avec le *solde* qui lui est attribué. Elle est appelée *capacité* d'un acteur ; elle évalue la possibilité de l'*acteur* d'accéder aux *Ressources* dont il a besoin pour atteindre ses *objectifs*, pondérée par son besoin de ces *Ressources*. De ce fait, elle mesure, pour un *acteur*, sa *capacité d'action* par la disposition des moyens nécessaires à la réalisation de ses *objectifs*.

Cette *capacité* est définie comme étant la somme, pour toutes les *relations* dont un *acteur* dépend, du produit des *enjeux* qu'il place sur cette *relation* par son *solde* :

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

Le caractère stratégique du comportement de l'acteur de la sociologie de l'action organisée le conduit, par définition, à chercher à atteindre ses objectifs et donc, en amont, à réaliser le *méta-objectif* commun à tous les acteurs sociaux : obtenir les moyens de ses objectifs concrets, à savoir une valeur acceptable (à défaut de l'optimum) pour sa capacité d'action. Un SAC apparaît alors comme étant un jeu, dans lequel le comportement des acteurs est déterminé par la capacité d'action. Une autre grandeur significative est la mesure selon laquelle un acteur contribue à la capacité d'action des autres, c'est-à-dire la quantité de capacité d'action qu'il leur prodigue.

C'est ce qui exprime la notion de pouvoir qui est au cœur de la sociologie de l'action organisée. Nous pouvons alors quantifier le pouvoir qu'un *acteur c* exerce sur les autres dans un *état* du système d'action *e* de la façon suivante :

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

Le modèle d'une organisation peut comporter d'autres éléments, tels que des solidarités entre acteurs ou des contraintes entre relations, sur lesquels il n'était pas nécessaire de s'appesantir pour la réalisation de ce travail.

¹ La satisfaction est une capacité d'action augmentée de la notion de solidarité entre les acteurs. La notion de solidarité est présente dans le méta-modèle et dans Soclab, cependant, dans mes travaux nous avons décidé de ne pas prendre en compte son effet, car cela n'apporte rien et ne change pas les résultats. Dans la suite, les notions de satisfaction et de capacité d'action seront donc équivalentes.

2.2 Modèle de régulation : système de règles

Il est maintenant nécessaire de décrire un minimum la façon dont une régulation est réalisée, d'une part pour comprendre quels en sont les principes, mais aussi car j'ai réutilisé au cours de mon travail la même méthode pour permettre aux acteurs de réaliser les modifications structurelles. Ce modèle de régulation a initialement été élaboré par Mathias Mailliard [Mailliard 2008] et à ensuite été amélioré par Joseph El Gemayel [El Gemayel 2008].

Chacun des acteurs a un comportement cyclique, que l'on décompose, selon l'hypothèse du comportement rationnel, en 3 étapes :

- percevoir l'état du système, principalement sa propre situation,
- décider de l'action à entreprendre,
- exécuter cette action,

et ce jusqu'à ce que le jeu se stabilise, c'est-à-dire que tous les acteurs soient « satisfaits ».

Un acteur est satisfait lorsque sa valeur de satisfaction est considérée comme assez élevée (supérieure à un seuil déterminé par l'acteur et mis à jour en fonction du temps), c'est à dire lorsqu'il ne souhaite plus modifier l'état des relations qu'il contrôle. Le système est alors *régulé*, il peut fonctionner ainsi puisque les acteurs ne contestent pas les comportements les uns des autres.

Il s'agit d'un modèle d'apprentissage par essais erreurs dont les règles sont de la forme {situation, action, force}, où l'on a :

- situation : la situation de l'acteur au moment de la création de la règle, elle est une configuration de l'organisation sous la forme d'une liste de soldes pour chacune des relations dont l'acteur dépend.
- action : une liste de modifications à apporter sur l'état de chaque relation que l'acteur contrôle.
- force : une valeur numérique évaluant l'efficacité de la règle, initialisée forfaitairement et qui varie selon son effet sur la satisfaction de l'acteur.

Au début d'une régulation, on initialise l'état des relations de façon arbitraire, par exemple à la valeur 0 qui correspond au comportement « normal » attendu. Chaque acteur doit sélectionner une action et mettre à jour sa base des règles à chaque pas de la simulation de la façon suivante :

- Il compare sa satisfaction courante avec sa satisfaction précédente (celle de l'étape précédente). La force de la règle précédemment appliquée sera augmentée ou diminuée

d'un facteur récompense en fonction de l'amélioration ou non de la satisfaction de l'acteur.

- Il diminue la force de toutes les règles d'un facteur oublié et il supprime les règles dont la force est négative.
- Il sélectionne les règles applicables, celles dont la composante « situation » est proche de la situation courante du joueur (proche en terme de distance euclidienne), afin qu'il choisisse la plus forte règle (la règle avec la plus grande force positive).
- Si l'ensemble des règles applicables est vide (par exemple au début de la simulation, mais aussi à chaque étape où il n'y a pas de règle dont la situation est suffisamment proche de la situation actuelle selon les distances euclidiennes), il crée une nouvelle règle, avec une force initialisée forfaitairement, dont la situation est celle du joueur et dont l'action est choisie au hasard.
- Enfin chaque acteur applique l'action de la règle choisie. Cette action est faite simultanément pour tous les acteurs.

Tous les processus d'apprentissage imposent un réglage entre le taux d'exploration et le taux d'exploitation de ce qui a été appris.

Si l'exploration est excessive, on ne pourra jamais atteindre un état stable, tandis que si l'exploitation est excessive, on se trouve stabilisé sur la première solution trouvée en ignorant d'autres solutions meilleures. Dans notre modèle, chaque acteur dispose d'un seuil de satisfaction initialisé à la valeur de satisfaction maximale et qui se rapproche de sa satisfaction courante. Plus l'écart entre la satisfaction courante et le seuil est grand, plus l'acteur explore et cela en réalisant des actions énergiques, oubliant rapidement les règles apprises et exigeant d'une règle qu'elle augmente la satisfaction pour la renforcer. Lorsque tous les acteurs sont satisfaits, l'algorithme s'arrête.

Cet algorithme respecte le principe de rationalité limitée qui est centrale dans la Sociologie de l'action organisée : chaque acteur n'a aucune connaissance sur le comportement ou la satisfaction des acteurs de l'organisation, il ne connaît que sa propre satisfaction et son propre comportement, et c'est en procédant par essais successifs sur les variables qu'il contrôle, en tenant compte du « feedback » de sa satisfaction, qu'il sera à même de trouver un comportement efficace.

2.3 Les principaux cas concrets utilisés comme exemples

Au cours de mes travaux, j'ai du faire de nombreux tests sur de nombreuses organisations, ceci afin de valider mes rationalités, ainsi que pour observer le comportement des acteurs selon ces rationalités. Il me semble donc utile de présenter au moins deux de ces organisations, d'une part pour permettre de comprendre les remarques que je fais à leur propos dans la suite du rapport, et d'autre part pour mieux clarifier ce à quoi peut ressembler une organisation dans SocLab.

2.3.1 Le dilemme du prisonnier

Il s'agit du cas le plus simple ayant un intérêt à être étudié. Il a l'avantage, par sa simplicité, d'être facile à appréhender intuitivement, et permet donc de comprendre aisément certains mécanismes. Il a aussi l'avantage de permettre de tester de nombreux cas différents via certaines variantes qui ne demandent de changer qu'un ou deux paramètres. En contrepartie, il s'agit d'un modèle simpliste qui ne peut refléter les cas réels plus complexes. Tout résultat obtenu sur ce cas doit être ensuite confirmé sur un cas plus complexe afin de le valider.

control	act1	act2
rel1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rel2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Fig. 3 - relations contrôlées par les acteurs

effect	act1	act2
rel1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rel2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 4 - fonctions d'effet des acteurs

stake	act1	act2
rel1	3.0	7.0
rel2	7.0	3.0

Fig. 5 - répartition d'enjeux des acteurs

La structure se compose donc de 2 acteurs et 2 relations, chaque acteur contrôlant une relation (Fig. 3), et dépendant de l'autre. Les fonctions d'effets sont conflictuelles : sur chaque relation, les intérêts des deux acteurs sont l'exacte opposée des intérêts de l'autre (Fig.4). Enfin, les enjeux sont répartis de manière à ce que les acteurs aient plus « besoin » de la relation dont ils dépendent que de celle qu'ils contrôlent (Fig. 5). Ici on voit que les acteurs attribuent 3 d'enjeux à la relation

contrôlée et 7 à la relation dont ils dépendent. Ils devront donc collaborer lors de la régulation pour avoir une satisfaction élevée.

Les nombreuses variantes utilisées consistent à jouer :

Sur l'enjeu :

- En l'augmentant sur la relation dont les acteurs dépendent, pour favoriser la coopération.
- En l'augmentant sur la relation contrôlée, ce qui leur permettra de ne plus avoir à coopérer, à devenir indépendant vis-à-vis de l'organisation.
- En cassant la symétrie de répartition d'enjeux, ce qui rendra une relation plus « importante » que l'autre.

Sur les fonctions d'effets :

- En faisant varier l'amplitude d'une ou de plusieurs relations, ce qui les rend plus ou moins indispensables pour les acteurs.
- En inversant l'une des fonctions d'effet, ce qui a pour effet de créer une relation non conflictuelle, sur laquelle les 2 acteurs ont les mêmes besoins.

Il existe encore de nombreuses variantes, permettant de mettre en avant d'autres particularités, mais celles-là donnent un bon aperçu de ce qui est possible.

2.3.2 Cas plus complexe : la cas Bolet.

Le cas Bolet est un cas pratique décrit et analysé par Philippe Bernoux dans « La sociologie des organisations » [Bernoux 1985]. Ce cas à ensuite été modélisé pour SocLab par Pascal Roggero, Christophe Sibertin-Blanc, Françoise Adreit et Mathias Milliard [Roggero, 2007]. C'est un cas qui est très intéressant pour nos analyses, car c'est un cas réel, suffisamment complexe pour ne pas être prévisible, et présentant des particularités intéressantes. On ne va pas s'attarder sur le côté sociologique du cas, qui n'aura pas d'influence directe, mais plutôt sur les particularités du modèle.

control	CA	Pere	Andre	Jean-BE
decision-achat	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
application-prescription	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
investissement-dans-pr	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
controle-application-pre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nature-prescription	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
controle-nature-presc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 6 - Relations contrôlées par les acteurs

stake	CA	Pere	Andre	Jean-BE
decision-achat	5.0	1.0	1.0	4.0
application-prescription	1.0	1.0	1.5	2.0
investissement-dans-pr	2.0	5.0	3.0	0.0
controle-application-pre	1.0	1.0	1.5	0.0
nature-prescription	1.0	1.0	1.5	2.0
controle-nature-presc	0.0	1.0	1.5	2.0

Fig. 7 - répartition d'enjeux des acteurs

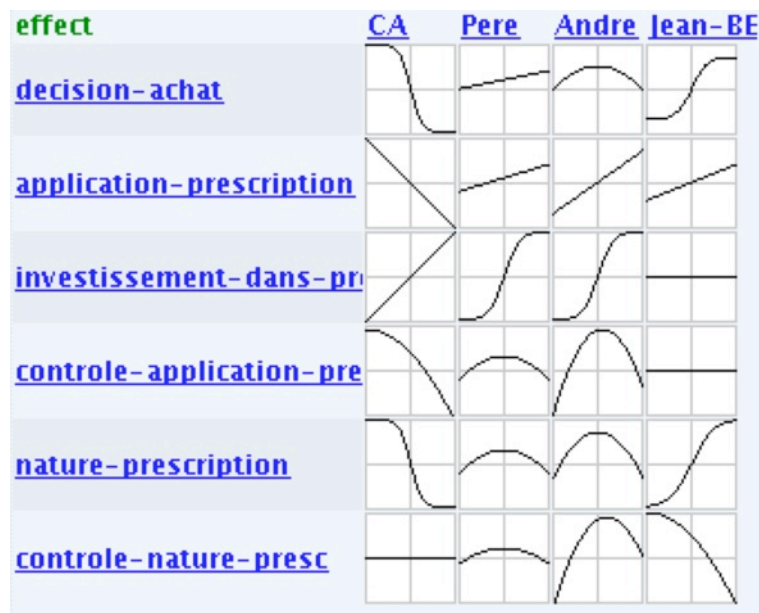


Fig. 8 - fonctions d'effet des acteurs

On peut tout d'abord observer que plusieurs acteurs dépendent fortement d'une seule relation, par exemple un enjeu ayant la valeur 5 va signifier que cet enjeu est aussi important pour l'acteur que les 5 autre réunis (Fig. 7).

Les acteurs dépendent pour la plupart de presque toutes les relations, exception faite de Jean-BE qui ne dépend que de 4 relations sur les 6 (Fig. 7).

Les acteurs sont globalement dépendants : ils ont beaucoup d'enjeux sur les relations dont ils dépendent et peu sur les relations qu'ils contrôlent, ce qui signifie qu'ils ne sont pas en mesure d'avoir une satisfaction élevée en ayant un comportement égoïste (non collaboratif).

Il y a toute sorte de fonctions d'effets (Fig. 8), certaines étant visiblement conflictuelles sur une relation, comme par exemple entre CA et Andre sur la relation « application-prescription », d'autres visiblement coopératives (ou non-conflictuelles) comme entre CA et Andre sur la relation « investissement-dans-prod », et d'autres plus difficile à déterminer, comme entre Pere et CA sur la relation « nature-prescription ». Sur cette relation, on voit qu'aucune valeur d'état ne peut faire atteindre le maximum de score (le maximum de la fonction d'effet) pour les 2 acteurs simultanément, mais on voit aussi qu'un « bon compromis » peut être atteint entre les acteurs.

Les fonctions d'effet n'ont pas toutes la même amplitude, ce qui implique une complexité supplémentaire (entre 2 relations pour lesquelles un acteur peut avoir le score maximum, il peut y en avoir une meilleure que l'autre).

Tous les acteurs n'ont pas le même « poids » dans l'organisation, certains ayant beaucoup plus de pouvoir que d'autres. Par exemple CA contrôle 2 relations importantes (Fig. 6) pour les autres acteurs alors que Jean-BE n'en contrôle qu'une, peu importante.

Enfin il faut noter la particularité peut-être la plus influente de ce cas : la relation « investissement-dans-prod » qui est une relation entièrement coopérative, c'est à dire que tous les acteurs du jeu ont intérêt à ce qu'elle soit dans le même état. C'est la seule relation dans ce cas.

3 Recherche d'un algorithme pour l'évolution de la structure d'une organisation : approche par recuit simulé.

3.1 Principe général de la simulation

Comme nous avons appelé les actions des acteurs sur les états des relations une « régulation », nous avons décidé par convention d'appeler les actions des acteurs sur la structure de l'organisation une « simulation ».

Nous avons vu ce qu'est une régulation, la façon dont elle se déroule et le résultat auquel elle aboutit. Pour les simulations, nous allons avoir besoin de ces résultats. En effet, le but des acteurs va être de modifier la structure de l'organisation de manière à améliorer la satisfaction qu'ils vont pouvoir obtenir lors d'une régulation sur cette structure.

Il est toutefois à noter que par la simulation on cherche ce qui est socialement faisable compte tenu de la rationalité limitée des acteurs. Par exemple, la structure qui amènerait la satisfaction moyenne des acteurs à sa valeur maximale n'est pas socialement faisable si cet optimum est atteint dans un état pour lequel l'un des acteurs a une très mauvaise satisfaction : cet acteur continuera à modifier son comportement de façon à améliorer sa satisfaction, empêchant le jeu de se réguler dans cet état. L'objectif d'un algorithme pour la simulation est de trouver la meilleure (ce qui dans une organisation sociale veut dire la plus coopérative) régulation qui soit socialement faisable.

Chaque étape de la simulation va donc consister à faire une modification de structure suivie d'une régulation sur cette structure, afin que les acteurs concernés évaluent si elle est meilleure ou plus mauvaise, de leur point de vue. En fonction de la comparaison avec la structure précédente, ils décideront d'agir d'une manière ou d'une autre, selon la rationalité que l'on utilisera.

Pour résumer, il s'agit toujours d'un simple cycle perception-action, où la perception consiste en fait en une régulation.

La première idée était de faire agir, comme pour la régulation, tous les acteurs simultanément. C'est le but du système, voir émerger une solution collective des actions individuelles simultanées des acteurs. Cependant, au cours des tests, j'ai ajouté la possibilité de ne faire agir qu'un seul acteur lors d'une simulation, afin de voir de quelle manière il parvient à augmenter sa satisfaction propre, s'il y parvient : dans une organisation, tous les acteurs n'ont pas intérêt à une évolution de la structure du

jeu social.

Enfin, deux types d'actions ont successivement été étudiées, de manière indépendante : la modification de ses propres enjeux et la modification des enjeux des autres acteurs.

3.2 Caractérisation des actions des acteurs

Sachant que nous avons déjà la partie « perception » du cycle perception-action, le problème à résoudre était de définir la partie « action ». Les éléments dont pouvaient disposer les acteurs pour décider d'une prochaine action, étant donné leur rationalité limitée, étaient les suivants :

- la satisfaction qu'avait obtenu l'acteur dans la structure précédente
- la modification effectuée par l'acteur sur la structure précédente
- la satisfaction de l'acteur dans la nouvelle structure
- Le contexte de l'acteur (sa distribution d'enjeu, la valeur des états des relations auxquelles il est lié)

La rationalité de l'acteur devait donc se baser sur ces éléments.

Au niveau des actions possibles pour les acteurs, nous avons décidé de les limiter à de simples modifications, pour essayer de ne pas complètement changer la structure de l'organisation. Nous aurions pu permettre par exemple aux acteurs de créer de nouvelles ressources, voire de nouveaux acteurs, mais l'organisation résultante après plusieurs de ces modifications serait tellement différente de l'organisation initiale que l'on ne pourrait plus rien observer. Le but de notre travail, au moins dans un premier temps, était d'observer comment des acteurs pouvaient modifier une organisation existante, de manière à l'adapter à leurs besoin, à améliorer leur coopération dans cette organisation. Pas de créer une nouvelle organisation totalement différente de l'initiale.

Pour ce faire, nous avons limité les actions possibles des acteurs à la modification de leurs enjeux sur les relations auxquelles ils sont liés. Les enjeux représentent l'importance attribuée à une relation par un acteur. Il y a 3 types d'enjeux :

-les enjeux nuls, équivalents à « pas d'enjeu pour cet acteur vers cette relation »

,

-les enjeux non nuls sur les relations contrôlées,

-les enjeux non nuls sur les relations non contrôlées.

On a choisit de ne pas faire de distinctions entre les 2 derniers types. Par contre nous avons pris comme contrainte de ne pas créer ni supprimer d'enjeux. Cela signifie qu'un enjeu non nul ne pourra jamais être nul et qu'un enjeu nul restera toujours nul.

3.3 Etude préliminaire par une rationalité minimale

Afin de bien connaître les problèmes auxquels les rationalités que l'on veut donner aux acteurs vont devoir répondre, j'ai commencé par donner aux acteurs la rationalité la plus simple possible. Pour ce faire, j'ai cherché quels étaient les 2 points clefs où, quel que soit le type de rationalité utilisée, l'acteur allait devoir prendre une décision. Ces deux points sont les suivants :

- **Décider d'une redistribution de ses enjeux**

- **Décider si la nouvelle distribution est satisfaisante ou non**

Pour faire la rationalité la plus simple, on décide de considérer que choisir une redistribution d'enjeux consiste à tirer aléatoirement des modifications d'enjeux, et que décider si la nouvelle distribution est satisfaisante consiste simplement à la comparer avec une satisfaction de référence, mise à jour à chaque fois qu'une nouvelle satisfaction plus élevée est trouvée. On peut définir l'algorithme correspondant :

- POUR chaque acteur
 - Satisfaction_de_référence = -l'infini
- POUR le nombre de modifications structurelles à tester
 - Faire une régulation
 - POUR chaque acteur
 - SI la nouvelle distribution donne une satisfaction supérieure à la satisfaction de référence

- Distribution_reference = nouvelle distribution
- Satisfaction_reference = nouvelle satisfaction
- POUR chaque acteur
 - Proposer une redistribution aléatoire de Distribution_reference

On étudiera notamment l'effet de l'amplitude des modifications et des conditions initiales.

On va dans un premier temps se pencher sur un cas très simple : le dilemme du prisonnier. (cas décrit dans le chapitre (2.3.1))

3.3.1 Effets du taux de variation d'enjeux.

Lorsque l'on redistribue aléatoirement les enjeux des acteurs, il faut fixer un taux de variation : il s'agit plus précisément de la valeur maximale dont chaque enjeu pourra être modifié à chaque étape de la simulation. On va observer comment ce taux de variation influe sur le comportement des acteurs.

(Dans toutes les illustrations ci-dessous, le comportement d'un seul des 2 acteurs est représenté, car l'autre est globalement identique, le jeu étant symétrique)

En fixant le taux de variation d'enjeux à 1, à partir d'une répartition des enjeux égale pour chacune des 2 relations dont l'acteur dépend (position moyenne), on observe que les acteurs redistribuent leur enjeu sur la relation qu'ils contrôlent (Fig. 9), et qu'ils parviennent de cette manière à largement augmenter leur satisfaction (Fig. 10).

En diminuant le taux de variation d'enjeux à 0.25, on observe le même comportement des acteurs dans leurs redistribution (concentration de l'enjeu sur la relation contrôlée, Fig. 9), mais plus lent (Fig. 11), ce qui est logique car les variations sont plus petites.

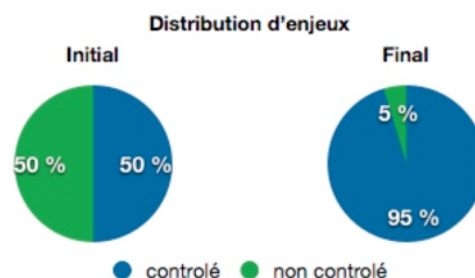


Fig. 9 - Redistribution des enjeux dans le dilemme du prisonnier ; concentration sur l'enjeux contrôlé

Enfin en augmentant beaucoup le taux de variation, jusqu'à 4 par exemple, on observe toujours la même stratégie, une augmentation des enjeux sur les ressources contrôlées (Fig. 9), mais les taux de satisfaction après régulation affichés dans la courbe (Fig. 12) varient beaucoup, car les acteurs testent des configurations très différentes à chaque tour.



Fig. 10 - Régulation, taux de variation = 1. Abscisse : étapes de la simulation



Fig. 11 - Régulation, taux de variation = 0.25



Fig. 12 - Régulation, taux de variation = 4

Analyse : Sur ce cas très simple, on voit que la première rationalité que l'on a implantée donne déjà des résultats. En effet, les acteurs sont parvenus à faire évoluer la structure, et ce pour atteindre une configuration leur permettant d'augmenter leur satisfaction, jusqu'à un point que l'on sait être le meilleur pour ce cas du dilemme du prisonnier. Cependant il s'agit d'un cas vraiment très simple, ce qui explique que cette rationalité suffise. Jouer sur le taux de variation n'a pas d'impact visible sur la distribution finale des enjeux, on note cependant qu'un taux très faible risque de rendre la convergence trop lente, quand un taux très fort semble empêcher une bonne convergence (on se rapproche d'une recherche aléatoire). Lorsqu'on teste sur des cas plus complexes, on se rend

compte qu'un taux de variation trop élevé conduit à des résultats irréguliers : les simulations donnent des résultats très différents d'une fois sur l'autre.)

3.3.2 Influence des conditions initiales

Dans un premier temps on fixe le taux de variation des enjeux à 1,5 ce qui semble d'après mes tests une bonne valeur.

Nous avons vu que quel que soit le taux de variation, si l'on commence la simulation avec une répartition égale des enjeux entre les 2 relations, les acteurs aboutissent toujours à la même répartition d'enjeux finale, à savoir un maximum d'enjeu sur la relation contrôlée. On se pose donc la question de savoir si la répartition initiale, elle, a une influence sur la répartition finale des enjeux.

Répartition initiale proche des répartitions finales constatées précédemment

Dans ce cas, cela ne change pas l'évolution globale de la répartition d'enjeux, la convergence est juste plus rapide.

Répartition initiale inverse des répartitions finales constatées précédemment

On prend maintenant une répartition inverse, c'est à dire où initialement les acteurs mettent plus d'enjeu sur la relation qu'ils ne contrôlent pas. On obtient une fois de plus un comportement identique des 2 acteurs.

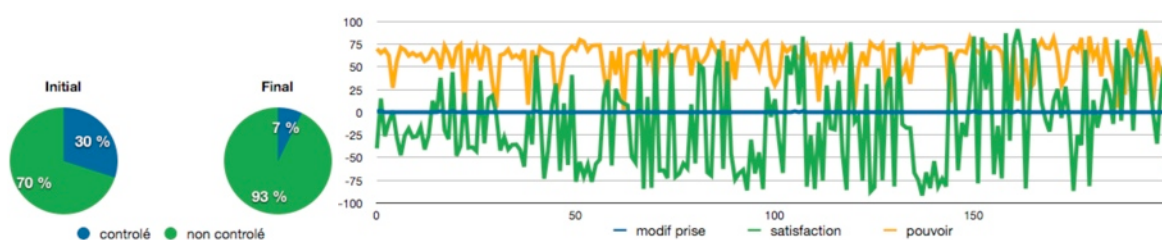


Fig. 13 - Répartition des enjeux et résultats d'une simulation

On voit que la stratégie adoptée est cette fois inverse : les acteurs distribuent un maximum d'enjeu sur la relation qu'ils ne contrôlent pas (Fig. 13, les camemberts). On voit que cela conduit à un état instable où, selon les résultats des régulations, la satisfaction pourra être très bonne ou très mauvaise (Fig. 13). On peut donc considérer que la structure atteinte par ce résultat est un

« maximum local », à opposer au « maximum global » de la distribution inverse, en effet d'une part les satisfactions restent moins élevées que dans la distribution d'enjeux inverse, et d'autre part la satisfaction « moyenne » est bien moins élevée.

Ce résultat est cependant à pondérer par le fait qu'il dépend beaucoup de la rationalité des acteurs utilisée pour les régulations. En effet, au point de vue de la satisfaction maximale que les acteurs peuvent obtenir, les cas « concentration sur l'enjeu contrôlé » et « concentration sur l'enjeu non contrôlé » sont identiques. C'est donc le déroulement des régulations qui va faire la différence. Dans la cas du dilemme du prisonnier simple, qui est un cas extrêmement conflictuel (fonctions d'effets, et donc besoins des acteurs, totalement opposés), il est difficile aux acteurs de coopérer.

Si on essaye maintenant de modifier le taux de variation, on se rend compte que si on le fixe à un niveau très bas (ex : 0,25), les distributions des acteurs restent dans un « maximum local » encore plus mauvais que précédemment (7 sur la ressource non contrôlée et 3 sur la ressource contrôlée, ce qui donne des satisfactions globales très mauvaises).

Si au contraire on augmente le taux de variation, la convergence ne se fait pas toujours dans le même sens. Avec un taux de variation de 4, et en ayant toujours comme distribution initiale 7 sur la relation non contrôlée et 3 sur la relation contrôlée, parfois les acteurs se concentrent sur la relation contrôlée et parfois sur l'autre. Un fort taux de variation semble donc efficace pour explorer les solutions possibles, mais les résultats sont sujets au hasard.

Répartition initiale dissymétrique

Dans cette répartition initiale, un acteur domine le jeu : il a beaucoup d'enjeu sur ce qu'il contrôle alors que l'autre en a beaucoup sur ce qu'il ne contrôle pas. Lors des simulations, les 2 acteurs concentrent leur enjeu sur la relation qu'ils contrôlent, quel que soit le taux de variation de la redistribution. Cela signifie que l'acteur qui domine le jeu se conduit comme dans les cas précédents, en amplifiant sa répartition initiale sur ce qu'il contrôle, mais que l'autre inverse complètement sa répartition d'enjeu, et de ce fait augmente considérablement sa satisfaction (Fig.

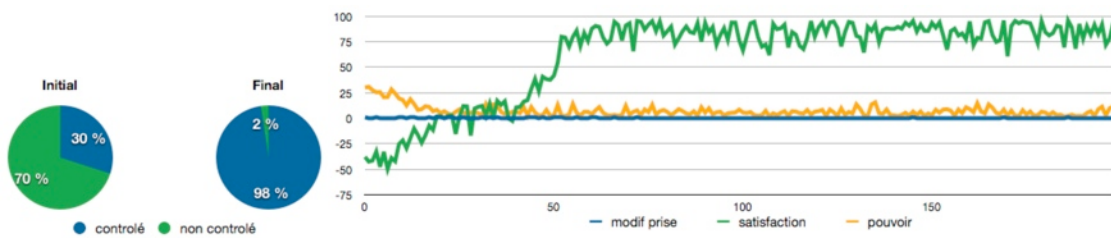


Fig. 14 - évolution de la répartition d'enjeux et résultats d'une simulation, pour l'acteur qui inverse sa répartition d'enjeu

Conclusions sur cette première approche

Le problème que l'on rencontre déjà sur ce cas simple est celui des maximums locaux. Une distribution sera très souvent prise au détriment d'une autre, alors qu'elle est moins bonne, simplement parce qu'elle est plus « proche » de la distribution initiale.

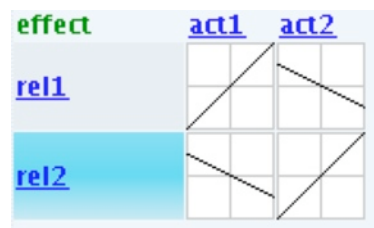


Fig. 15 - répartition d'enjeux favorisant un comportement non coopératif

On peut le mettre en évidence de manière claire dans le problème suivant : on prend un dilemme du prisonnier pour lequel les fonctions d'effets sont définies de manière à créer un maximum local : on rend les relations non contrôlées par les acteurs peu intéressantes en diminuant l'amplitude de leurs fonctions d'effet (Fig. 15). Initialement, l'acteur 1 a beaucoup d'enjeu sur la relation 2 et l'acteur 2 beaucoup d'enjeu sur la relation 1. Comme les fonctions d'effet de ces relations ont des amplitudes faibles, les acteurs auraient fortement intérêt à redistribuer leurs enjeux sur l'autre relation.

Lorsque l'on observe comment l'acteur 1 par exemple fait évoluer son enjeu sur la relation 1 (Fig. 16, symétrique pour l'acteur 2), on voit que les acteurs restent relativement proches de la répartition initiale. Ils ne parviennent pas à inverser leur distribution d'enjeux car lorsqu'ils testent des solutions consistant à augmenter leur enjeu sur ce qu'ils contrôlent, leur valeur de satisfaction diminue, et elle augmente quand ils cherchent à diminuer cette valeur. Pour atteindre une

distribution plus intéressante, il leur faudrait passer par une distribution moins intéressante. C'est bien un problème d'optimum local.

C'est pourquoi on peut essayer de résoudre ce problème en implantant une métaheuristique de recherche d'optimum global.

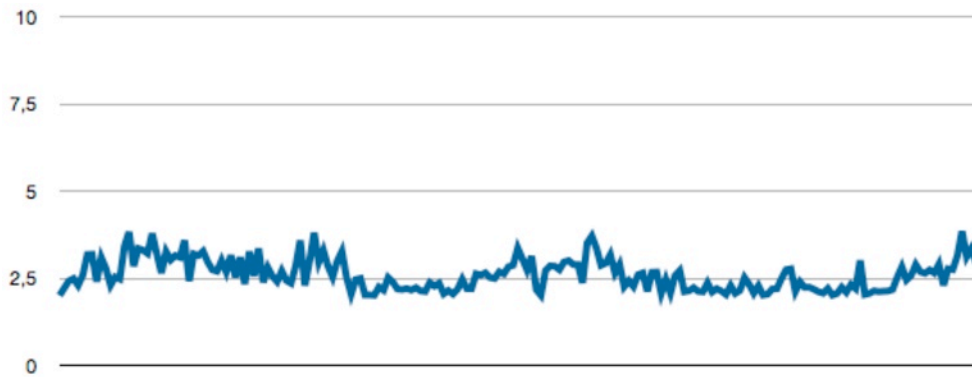


Fig. 16 - acteur ne parvenant pas à sortir d'un maximum local

3.4 Recuit simulé

Cette solution n'a portée que sur le cas où tous les acteurs modifient simultanément leurs propres enjeux. L'approche par système de règles ayant donnée des résultats légèrement meilleurs par la suite, les modifications par un seul acteur, ou des enjeux des autres acteurs, n'ont été effectuées qu'avec cette dernière.

Le problème qui se pose avec les diverses méta-heuristiques classiques telles que la recherche tabou ou les algorithmes génétiques est la très grande quantité de calculs qu'ils demandent. A titre d'exemple, si l'on avait voulu implanter l'algorithme tabou, à chaque étape de simulation chaque acteur aurait du tester toutes les « permutations » d'une somme forfaitaire d'enjeu, soit pour un cas raisonnablement complexe, avec 6 relations, 5! possibilités. Pour que la métaheuristique soit vraiment respectée, il faudrait même tester toutes les combinaisons possibles de rerépartition entre les acteurs, ce qui multiplie d'autant le nombre de tests à effectuer avant de pouvoir décider d'une seule action (une seule itération de la métaheuristique). Or il se trouve que dans notre cas, chaque modification doit être suivie d'une évaluation faite par une régulation, et qu'une régulation prend déjà un temps non négligeable, avoisinant fréquemment la seconde. Un algorithme tel que

l'algorithme tabou nécessitant inévitablement un nombre assez important d'itérations (il faut atteindre un maximum local, puis en sortir, en atteindre un autre, etc), une seule simulation durerait au minimum plusieurs heures. De toute façon, une telle approche n'a aucune vraisemblance en terme de capacités des acteurs sociaux, car elle suppose que les acteurs seraient capable de se rendre compte de toutes les évolutions possibles et de connaître à l'avance la meilleure, ce qui va à l'encontre de la rationalité limitée.

Le choix c'est donc porté vers une métaheuristique qui a la particularité d'avoir des itérations beaucoup plus simples, beaucoup plus courtes, mais qui en contrepartie nécessite généralement plus d'itérations. Cependant cet état de fait nous satisfait mieux car à chaque étape (rapide), on progresse vers le résultat, nous sommes donc capable de suivre cette progression. De plus, la vitesse de convergence de l'algorithme peut-être ajustée via des paramètres, nous pourrons donc faire une convergence assez rapide qui sera un bon compromis entre le temps d'exécution et la finesse du résultat atteint. Alors qu'avec une recherche tabou, le temps que prend une itération n'étant pas modifiable, dès que le cas sera trop complexe on ne pourra pas effectuer plus de quelques cycles dans un temps raisonnable, ce qui ne serait pas suffisant pour obtenir un résultat significatif.

3.4.1 Implantation

Dans notre cas, implanter l'algorithme de recuit simulé va consister à modifier la condition de prise d'une redistribution : avant, une redistribution n'était gardée que si la satisfaction qui en résultait était meilleure que la satisfaction de référence mémorisée. Avec le recuit simulé, toute redistribution à une probabilité d'être prise, même si elle ne semble pas intéressante.

On rajoute en fait une variable, appelée T , qui va décroître au fur et à mesure de la simulation. Lorsque la satisfaction d'une redistribution d'enjeux aura été évaluée, on prendra la différence entre la satisfaction de référence et la nouvelle satisfaction, que l'on appellera Δ_E , et la probabilité de prendre la modification sera alors de $e^{\frac{\Delta_E}{T}}$, ou de 1 si la nouvelle satisfaction est meilleure que la satisfaction de référence.

Pour donner un aperçu visuel, on peut tracer la probabilité de prendre une modification selon Δ_E avec une température de 100, puis une température de 10. (Fig. 17)

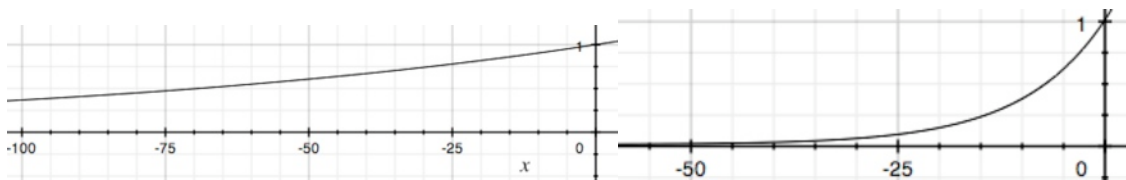


Fig. 17 – probabilité (en ordonnée) de prendre des modifications selon l'écart de satisfaction Δ_F

On peut aussi tracer l'évolution de la température si on fixe son coefficient de diminution à 0.93 puis 0.97 et en partant d'une température initiale de 100 (Fig. 18, avec le nombre d'itérations en abscisse)

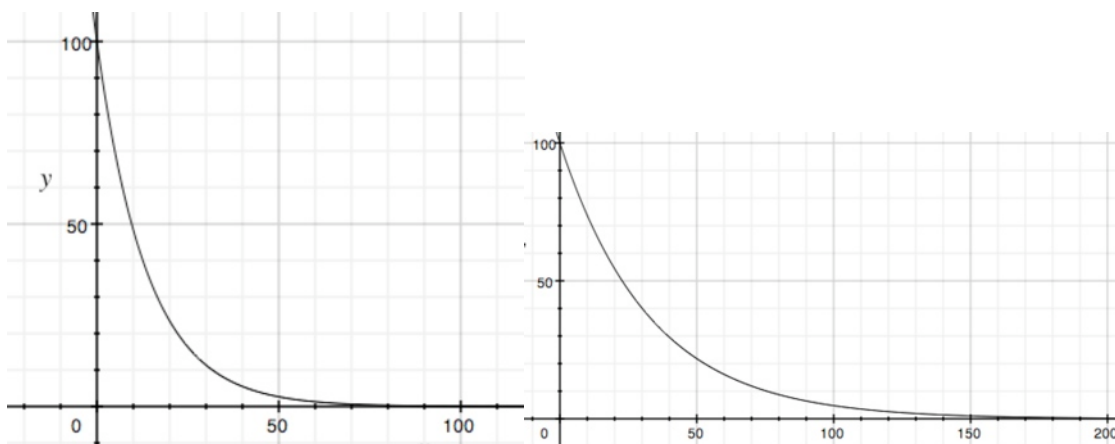


Fig. 18 - évolution de la température au cours d'une simulation. Abscisse : étapes de la simulation. Ordonnée : température.

Si on reprend maintenant l'exemple précédent qui présentait un problème de maximum local, et qu'on le traite en ayant implanté le recuit simulé, on se rend compte que, selon les paramètres que l'on va donner au recuit simulé (diminution de la température, température initiale), on ne va pas toujours sortir du maximum local, mais, s'il est bien paramétré, on va trouver le maximum global dans la majorité des cas.

3.4.2 Tests de la métaheuristique

Sur le dilemme du prisonnier

On commence par reprendre le dernier cas qui a été présenté (fig. 15), c'est à dire le dilemme du prisonnier avec des fonctions d'effets volontairement modifiées pour créer un minimum local. On constate alors qu'avec le recuit simulé, la simulation ne reste plus bloquée sur le maximum local, mais parviens au contraire à trouver ce que l'on sait être le maximum global dans ce cas simple. (Fig. 19, température initiale de 150 et diminution de température de 0.96, (Pour rappel, la courbe

bleue représente la quantité d'enjeu attribué par un acteur sur la relation la plus intéressante pour lui. Sans le recuit simulé, cette valeur restait proche de sa valeur initiale, ce qui était mauvais. La courbe verte représente la prise ou non d'une modification : lorsqu'elle est haute, la modification a été prise, lorsqu'elle est basse, la modification a été rejetée)

On peut observer que, lors des premières étapes, aussi bien les redistributions dans un sens que dans l'autre sont acceptées (courbe verte), puis, petit à petit, lorsqu'une modification s'avère mauvaise, elle est rejetée. Ce sont généralement les redistributions qui réduisent l'enjeu sur cette relation contrôlée qui sont rejetées, et donc le recuit simulé trouve l'optimum global dans la grande majorité des cas.

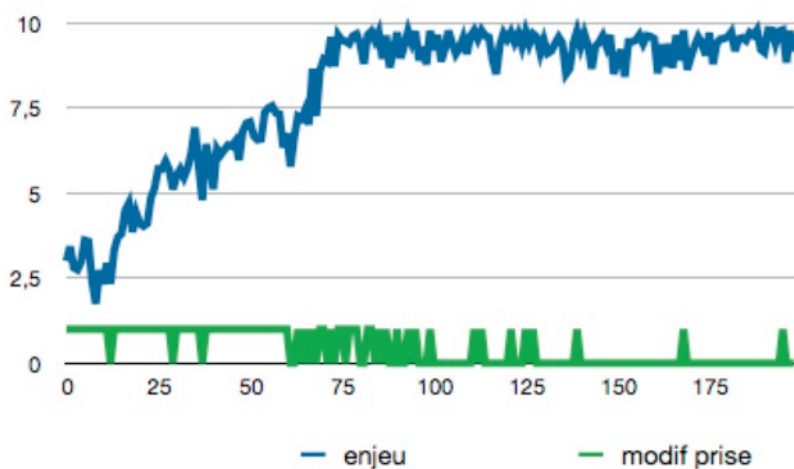


Fig. 19 - avec le recuit simulé, les acteurs peuvent sortir d'un maximum local

Cas plus complexe : le dilemme du prisonnier à 4 acteurs.

Dans ce cas, il y a 4 acteurs et 6 relations. Chaque acteur contrôle 1 ou 2 relations. Pour chaque relation, la fonction d'effet est inversée entre le contrôleur et ceux qui en dépendent, ce qui engendre une relation conflictuelle. Pour que le jeu soit un peu dissymétrique, les 2 acteurs qui contrôlent 2 relations ont au contraire des fonctions d'effets allant dans le même sens sur leur deuxième relation, ils peuvent donc « s'aider » sur cette relation. Enfin, pour casser la régularité, tous les acteurs ne dépendent pas de toutes les relations. Le but est d'étudier un cas encore suffisamment simple pour que l'on puisse comprendre l'intérêt des acteurs de manière intuitive, mais moins simpliste que le dilemme du prisonnier.

Si on utilise la simulation telle qu'elle viens d'être décrite, donc avec le recuit simulé, on observe des résultats qui sont présentés pour deux acteurs représentatifs dans la figure 20.

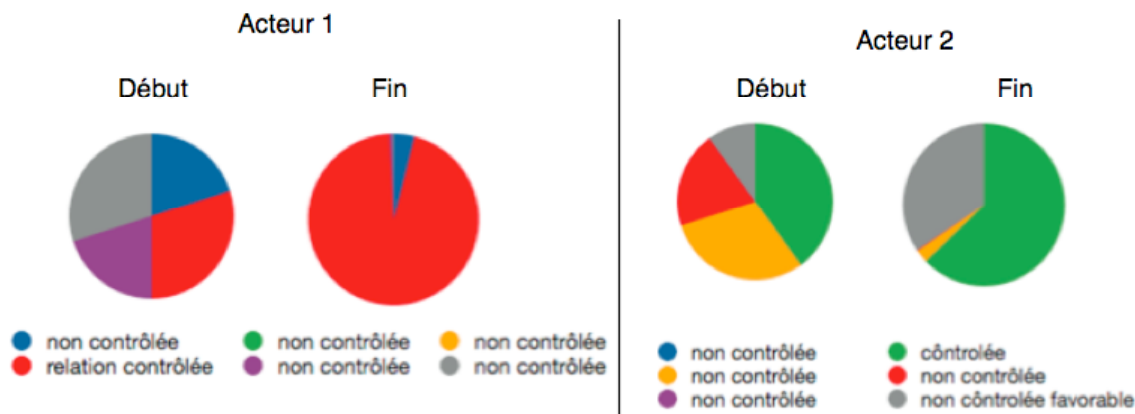


Fig. 20 - répartition d'enjeux pour le dilemme du prisonnier à 4 acteurs

Les deux premiers disques présentent la distribution d'enjeu d'un acteur ne contrôlant qu'une seule relation, en début de simulation puis en fin. On observe que celui-ci a déporté tout son enjeu sur la relation qu'il contrôle. De plus, il n'a presque plus d'enjeu sur certaines des relations (valeur d'enjeu inférieure à 0,02, plus visible sur le graphique).

Le deuxième graphique montre la redistribution d'enjeu d'un des 2 acteurs contrôlant 2 relations. On peut voir qu'il a mis une forte quantité d'enjeu sur la relation qu'il contrôle mais aussi une importante quantité sur la relation « contrôlée favorable », c'est à dire celle contrôlée par un autre acteur mais sur laquelle il a une fonction d'effet dans le même sens que le contrôleur.

Cette distribution n'est pas systématique et dépend notamment des paramètres de la simulation, mais une distribution finale de cet ordre est largement la plus courante. Si maintenant on désactive le recuit simulé, retrouvant donc le mécanisme simpliste décrit au chapitre(3.3), on n'observe plus cette convergence, mais au contraire, fréquemment une stagnation des distributions d'enjeux proche de la distribution initiale, accompagnée de faibles valeurs de satisfaction. A titre d'exemple, on présente ce que donne les 2 acteurs précédents dans une de ces simulations dans la figure 21 (lecture similaire à la figure 20).

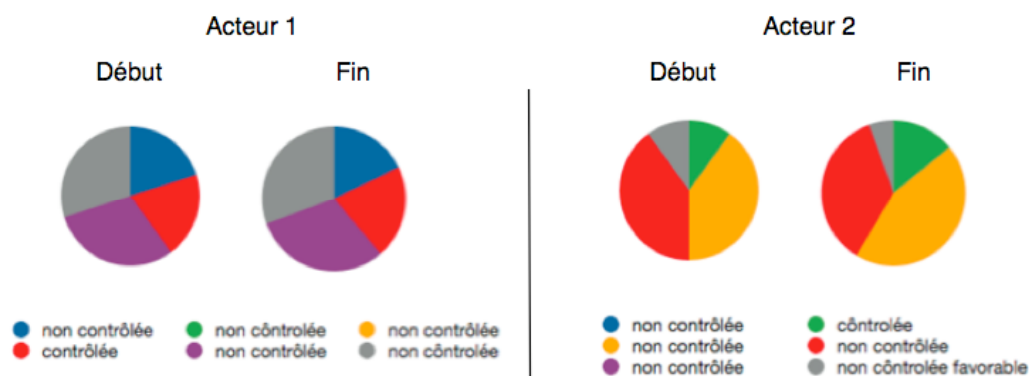


Fig. 21 - résultats du dilemme du prisonnier à 4 acteurs sans recuit simulé

On peut constater que dans ce cas, les acteurs ne parviennent pas vraiment à optimiser leur distribution d'enjeux et restent proches de leurs distributions initiales, ils sont piégés par le premier maximum local.

3.4.3 Analyse de l'efficacité de la simulation

On sait que si le recuit simulé est correctement paramétré, on va presque toujours arriver à des distributions finales identiques. On se pose donc la question de l'efficacité de la solution, qui cherche toujours à optimiser la satisfaction. Pour cela, on va regarder 3 indicateurs : la moyenne de la satisfaction des acteurs à chaque pas de la simulation, le pouvoir moyen et l'écart type des satisfactions des acteurs à chaque pas de la simulation.

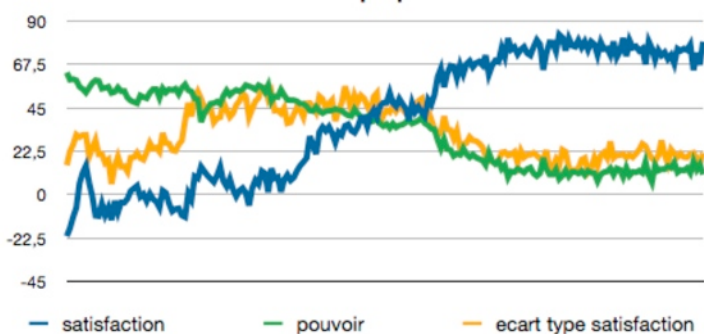


Fig. 22 - indicateurs d'efficacité d'une simulation

Comme on peut le voir dans la figure 22, la satisfaction moyenne est très largement optimisée par la simulation. C'est en fait tous les acteurs qui parviennent à optimiser leur satisfaction, ce qui explique la hausse de la satisfaction moyenne. En contrepartie, le pouvoir moyen a aussi tendance à baisser.

Cette corrélation entre hausse de la satisfaction et baisse du pouvoir s'explique par la nature du cas et la stratégie des acteurs : tous les acteurs ont tendance à augmenter leur enjeu sur les relations

qu'ils contrôlent, ce qui les rend plus indépendants, ils n'ont plus besoin de coopérer.

Ceci explique pourquoi leur satisfaction augmente : ils deviennent indépendants du reste du jeu, libre d'avoir une satisfaction élevée en optimisant la valeur de l'état de la relation contrôlée. Ceci explique aussi pourquoi le pouvoir baisse : le pouvoir d'un acteur a_1 est déterminé par l'enjeu mis par les autres acteurs a_X sur les relations contrôlées par a_1 . Si chaque acteur a_X concentre son enjeu sur la relation qu'il contrôle, il ne peut plus en mettre sur celle contrôlée par a_1 et donc le pouvoir de a_1 va baisser. Le phénomène est identique pour chaque acteur.

3.4.4 Problèmes constatés

En observant les résultats on peut constater certaines limites de l'algorithme tel qu'on l'a défini : tout d'abord, nous avons spécifié qu'aucun enjeu non nul ne devait devenir nul. Or, dans les faits, certains enjeux sont ramenés à des valeurs tellement faibles que leur effet sur la satisfaction devient nul. Il est donc logique d'introduire une limite inférieure à la valeur que peut avoir un enjeu sur une relation. On prendra la valeur de 0,5 qui est la plus basse valeur que l'on peut donner à un enjeu non nul lors de la création manuelle d'une structure dans SocLab, et qui semble à la fois très basse et assurant tout de même un minimum d'effet.

L'autre problème que l'on constate est que les acteurs ont tendance à mettre tout leur enjeu sur une seule relation, qui leur est très favorable (dans le cas présent, c'est la relation qu'ils contrôlent, mais ce pourrait être une relation dont ils dépendent si elle leur était favorable). Cela correspond à un désengagement du jeu social, à la simplification du système, et va donc à l'encontre du but que l'on recherche. On va donc fixer une limite maximale à l'enjeu attribué aux relations. Une solution qui semble adéquate est de limiter la quantité d'enjeu sur la totalité des relations contrôlées aux deux tiers, que l'on arrondit à 7, et de même pour les relations non contrôlées.

Pour observer d'autres phénomènes de redistribution d'enjeux, il nous faut passer à un cas plus complexe, où il sera plus difficile pour un acteur d'obtenir une forte satisfaction en se concentrant seulement sur la relation qu'il contrôle.

3.4.5 Cas plus complexe : la cas Bolet.

(Cas décrit dans le chapitre (2.3))

Les premiers tests menés ont montré que l'algorithme « fonctionnait » aussi sur ce cas complexe. La satisfaction globale des acteurs est augmentée par les modifications de structure prises par les acteurs. Cependant, on constate aussi que les structures solutions en fin de simulation sont souvent

différentes les unes des autres, bien que représentant une amélioration par rapport à la structure initiale identique.

La question s'est donc posée de « l'évaluation » de ces solutions. Pour la régulation, on disposait d'un outil de SocLab qui calcule de manière systématique toutes les valeurs possibles pour les états, et qui trouve donc la « meilleure » attribution d'états au point de vue de la satisfaction globale. On peut donc comparer l'attribution d'états faite par la régulation à cette attribution optimale, ainsi que leur différence en valeur de satisfaction globale. Il aurait donc été utile d'avoir une solution équivalente au niveau des répartitions d'enjeu.

Malheureusement, il est très vite apparu que l'on se trouvait face à un problème d'explosion combinatoire, qui interdit l'usage du test de toutes les possibilités.

Afin d'obtenir cependant une approximation d'une valeur optimale, nous avons choisi d'adapter la métaheuristique de la recherche tabou à notre problème. Concrètement, on fixe une valeur unitaire X de modification d'enjeu, (qui va définir la grosseur du grain de la recherche : une valeur importante permettra de tester des répartitions très différentes, de ne pas rester sur un maximum local, quand une valeur plus petite permettra de trouver des valeurs de manière plus fine, et n'aura pas le risque de « rater » une bonne solution qui demanderait une répartition bien précise.), et on va tester, pour chaque acteur, pour chacun de ses enjeux, d'augmenter cet enjeu de la valeur X et de diminuer un autre de ses enjeux (test pour chaque enjeux de l'acteur) de cette même valeur.

On va ensuite évaluer cette nouvelle structure, non pas en faisant une régulation, ce qui serait trop long, mais en utilisant la recherche de la meilleure satisfaction globale. Une fois que toutes les possibilités de rerépartition ont été testées, on garde celle qui donne la meilleure satisfaction globale, puis on relance le processus à partir de cette répartition. Avec cette méthode, on va rapidement trouver un premier maximum local. C'est là que la recherche tabou diffère d'une simple montée de gradient : lorsque l'on atteint un maximum local, on le mémorise dans une « liste tabou », liste des positions qu'il est maintenant interdit de choisir. A chaque tour, lorsque l'acteur devra choisir une nouvelle meilleure solution parmi ses positions voisines, il vérifiera au préalable que cette solution ne fait pas partie de celles mémorisées dans la liste tabou. Cela permet de sortir d'un maximum local, pour éventuellement trouver plus tard un meilleur optimum.

Cette technique ne respecte absolument pas le critère de la rationalité limitée, puisqu'il faut une connaissance omnisciente de l'organisation pour calculer la meilleure satisfaction globale sans passer par une régulation. Mais le but était simplement de trouver une répartition d'enjeux à

comparer aux résultats trouvés par notre simulation.

On constate que, quelle que soit la valeur unitaire choisie, et même quelle que soit la répartition initiale d'enjeux, on obtient assez rapidement par la recherche tabou une répartition qui est toujours sensiblement la même et qui donne une satisfaction globale élevée (satisfaction moyenne des acteurs d'environ 75). Afin de pouvoir comparer cette valeur avec les résultats que l'on peut obtenir avec une simulation, il peut être utile d'avoir la satisfaction moyenne des acteurs obtenue lors d'une régulation faite sur une structure trouvée par la recherche tabou. La moyenne sur 100 régulations pour la satisfaction moyenne des acteurs est de 65. On peut donc considérer cette valeur comme une sorte d'objectif à atteindre pour la satisfaction moyenne des acteurs lors d'une simulation.

On peut donc considérer que cette solution, si elle n'est pas optimale (ce que l'on ne peut pas prouver), est la solution « la plus logique » pour des acteurs qui auraient une vision globale de l'organisation et de ses acteurs. Il est à mon avis difficile de tirer des règles générales sur ce qui serait « la meilleure structure » pour une organisation donnée à partir des résultats que l'on observe (par exemple : les acteurs doivent concentrer leur enjeu sur les relations qu'ils contrôlent, ou sur les relations de plus grande force, etc.), car cela dépend vraiment de la structure. Par exemple, dans le cas bolet, il y a une relation pour laquelle les fonctions d'effets de tous les acteurs qui en dépendent sont presque identiques. Comme elle ne représente pas un conflit, on comprend que, pour tous les acteurs concernés, concentrer leur enjeu dessus est une bonne solution, c'est d'ailleurs la solution que trouve l'algorithme tabou. Cependant ce n'est pas non plus forcément la meilleure solution, cela dépend des autres fonctions d'effets, car il ne suffit pas de concentrer son enjeu sur une fonction d'effet très favorable, il faut aussi que les autres fonctions ne soient pas trop défavorables. Je pense donc qu'il y a trop de cas particuliers et de variables interdépendantes pour pouvoir établir des règles générales qui conduiraient à trouver systématiquement la meilleure solution.

Comparaison entre les solutions trouvées par le recuit simulé et la meilleure solution trouvée par la recherche Tabou.

Tout d'abord, on peut regarder à quoi peut ressembler l'évolution des caractéristiques du cas Bolet lors d'une simulation : on peut voir la satisfaction moyenne, le pouvoir moyen et l'écart type des satisfactions des acteurs (Fig. 23).

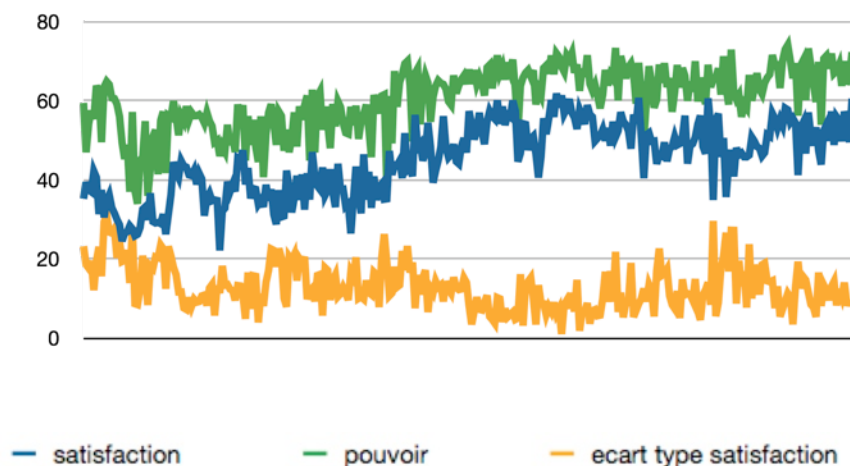


Fig. 23 - indicateurs d'une régulation pour le cas Bolet

Au niveau du pouvoir, on constate que l'on n'a pas, comme dans les dilemmes du prisonnier, de diminution du pouvoir corrélée à l'augmentation de la satisfaction. Si l'on regarde la satisfaction moyenne, on constate qu'elle augmente indubitablement, passant d'une valeur initiale d'environ 35 à une valeur finale autour de 55. Le jeu a évolué vers une structure dans laquelle les acteurs sont plus dépendants les uns des autres, ils ont besoin de coopérer, et cette structure est telle qu'ils parviennent à le faire (bons niveaux de satisfaction). Ces caractéristiques sont celles de la plupart des organisations sociales réelles.

Mais cette valeur finale n'est pas forcément ce que l'on va considérer comme le « résultat » de notre simulation. Il y a plusieurs façons d'interpréter la simulation, et donc son résultat. Comme expliqué précédemment, l'algorithme de recuit simulé fait que chaque acteur teste des changements, et décide ou non de les accepter, indépendamment des autres. On observe que vers la fin de la simulation, les acteurs continuent de tester des changements mais n'en acceptent plus aucun. On s'aperçoit aussi que certains acteurs continuent à accepter des changements quand d'autres se sont déjà arrêtés. La « solution » trouvée par la simulation peut donc être considérée comme :

- la répartition d'enjeux lors de la dernière étape de la simulation, qui correspond donc à des répartitions qui sont des « essais » des acteurs, probablement non pris. Prendre ces répartitions comme solution ne semble pas très satisfaisant, car ce ne sont que des essais non pris des acteurs, mais cela représente assez bien une tendance de l'évolution de l'organisation.

- la **dernière répartition d'enjeux « acceptée »** pour chacun des acteurs. Cela correspond à une structure de l'organisation qui, dans les faits, n'a pas été testée, et dont les caractéristiques (satisfaction moyenne des acteurs, ...) sont inconnues. Cependant elle doit être assez proche de la

solution précédente, à des variations aléatoires près, et semble plus pertinente.

- l'étape de la simulation ayant donnée la **satisfaction moyenne maximale**. Il y a une étape de la simulation pour laquelle la satisfaction moyenne des acteurs est la plus élevée, on peut considérer que la distribution d'enjeux des acteurs à cette étape est la distribution « solution » de notre simulation. Cependant ces répartitions d'enjeux peuvent ne pas avoir été prises par les acteurs, ou ne pas être les dernières répartitions qu'ils aient pris.

Chacune de ces solutions ont des particularités, et correspondent à quelque chose de différent. Si on veut comparer la meilleure satisfaction moyenne maximale entre le recuit simulé et la recherche tabou, on voit que le recuit simulé arrive à trouver des valeurs élevées mais inférieures à la satisfaction maximale trouvée par la recherche tabou : dans l'exemple montré ci-dessus, le maximum est à 62.

On peut se demander pourquoi les acteurs ne restent pas autour de cette satisfaction moyenne maximale. La raison est probablement simple, c'est qu'ils n'ont qu'une rationalité limitée, pas une vision globale comme la recherche tabou. Si l'on regarde en détail pour chaque acteur, on se rend compte qu'aucun n'a décidé de garder la répartition d'enjeu correspondant à cette structure, car elle oblige à un certain compromis, ce qui fait que l'acteur préfère garder une répartition qui était plus à son avantage personnel.

Comparaison des solutions trouvées par les différents algorithmes :

On va comparer les différentes solutions trouvées par les algorithmes avec la répartition initiale des enjeux des 4 acteurs du cas Bolet (fig. 24). Pour chaque figure, la répartition des enjeux des 4 acteurs de l'organisation sont représentées dans le même ordre. Une même couleur correspond toujours à une même relation.

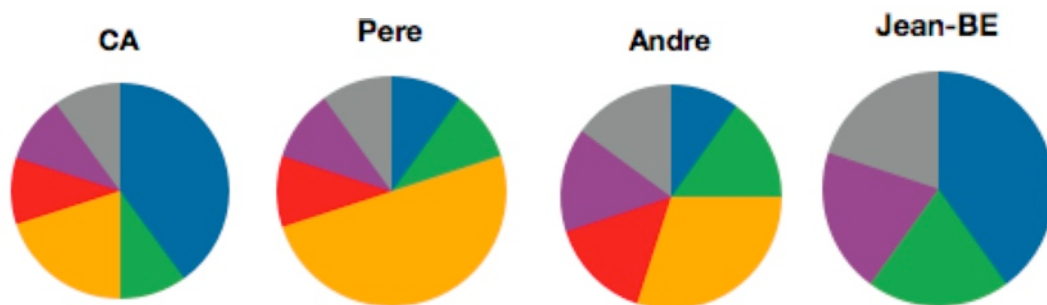


Fig. 24 - Répartition initiale des enjeux pour le cas Bolet

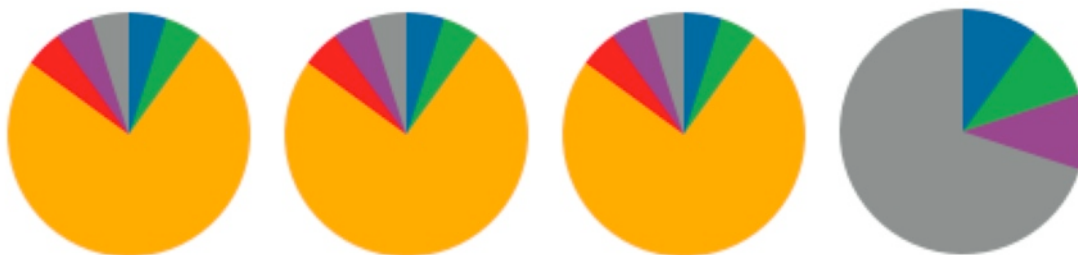


Fig. 25 - Solution trouvée par la recherche Tabou

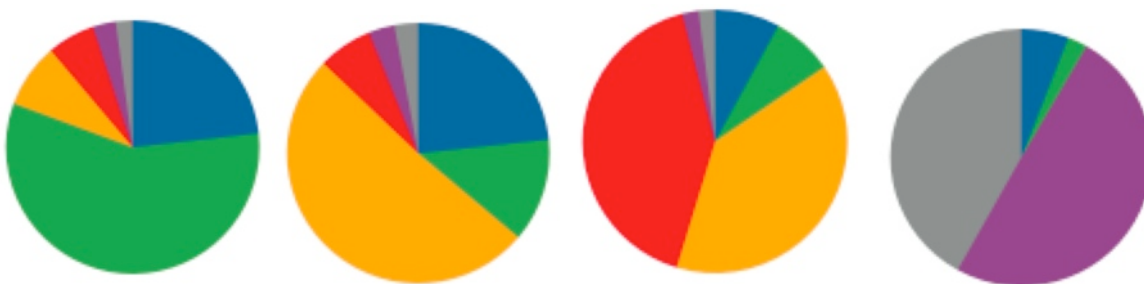


Fig. 26 - Solution pour l'étape de la simulation donnant la meilleure satisfaction moyenne (satisfaction moyenne maximale)



Fig. 27 - Solution pour les dernières distributions choisies par chaque acteur

On voit que les répartitions d'enjeux sont très différentes dans la solution trouvée par la recherche tabou (Fig. 25) et par notre simulation par recuit simulé (Fig. 26). Cela s'explique par le fait que pour un acteur, il y a souvent plusieurs relations qui lui apportent beaucoup de satisfaction. Lors d'une simulation, les acteurs sont « indécis » entre ces bonnes solutions, ce qui explique ce partage

entre plusieurs relations, quand, avec l'algorithme tabou, on se concentre sur une seule.

On peut aussi comparer ces répartitions à celles des dernières distributions choisies par chaque acteur (Fig. 27). On voit ainsi qu'en fin de simulation, les acteurs se sont largement éloignés de la solution donnant la satisfaction moyenne maximale, mais qu'il reste certaines constantes. Pour le quatrième acteur par exemple, les 2 enjeux les plus importants (en gris et violet) sont restés globalement identiques. Pour les deux premiers acteurs également, les enjeux les plus importants sont restés globalement les mêmes. Seul l'acteur 3 (Andre) semble avoir complètement changé sa répartition d'enjeux.

3.5 Question de l'efficacité du recuit simulé.

Le problème que l'on rencontre est que les résultats divergent beaucoup d'une simulation à l'autre. Le cas présenté ci-dessus est un cas où les résultats semblent plutôt bons : une très bonne satisfaction globale est trouvée à un moment donné, et la satisfaction finale des acteurs a clairement augmentée par rapport au début, et semble assez stable selon les régulations même avec de petites modifications aléatoires.

Cependant dans d'autres cas, les acteurs semblent ne pas trouver de répartitions aussi bonnes : on peut obtenir des courbes de satisfaction moyenne très bruitées (Fig. 28), voire des simulations qui semblent ne pas améliorer la satisfaction globale (Fig. 29).

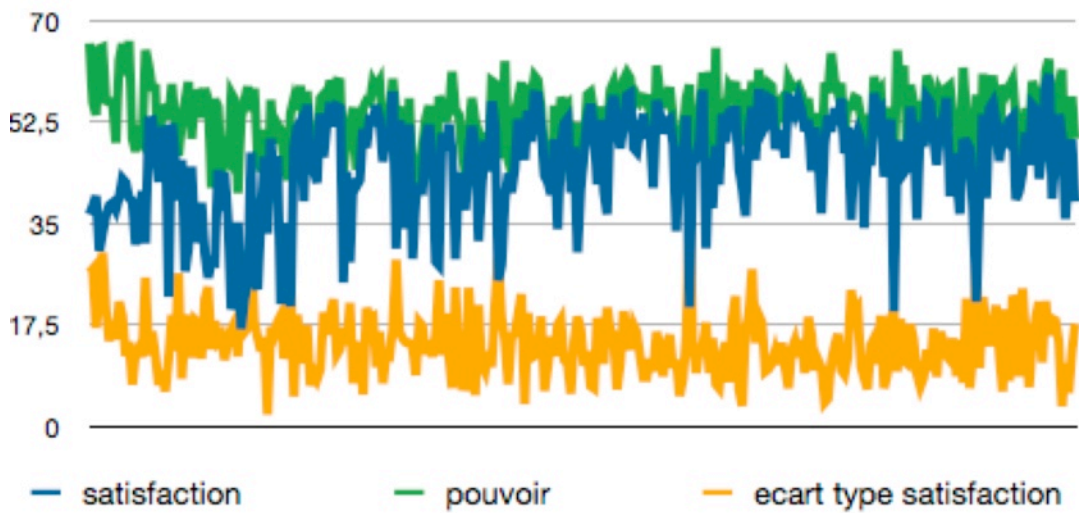


Fig. 28 - Simulation très bruitée

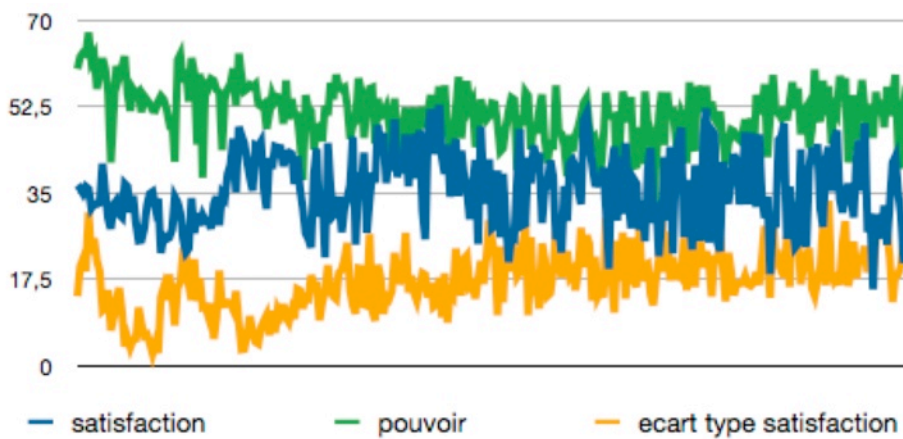


Fig. 29 - Simulation n'améliorant pas la satisfaction globale des acteurs



Fig. 30 - acteur piégé par une bonne satisfaction non significative

Si l'on cherche à savoir pourquoi, on pourra se rendre compte par exemple que l'un des acteurs a une courbe de satisfaction qui, comme on peut le voir (Fig. 30), après une chute initiale, stagne à un niveau très bas (inférieur à 20) et ne semble pas pouvoir remonter. La chute initiale peut s'expliquer par le principe du recuit simulé, qui nécessite d'aller explorer des solutions a priori peu intéressantes pour sortir de solutions locales. Mais on constate qu'aux environs de l'étape 100,

l'agent est sorti de la phase d'exploration du recuit simulé, il ne prend plus des modifications que si elles correspondent à une augmentation de sa satisfaction de référence. Et il semble que l'agent est dans une position telle que quelles que soient les modifications de sa distribution d'enjeux qu'il teste, il ne parvient pas à trouver de véritables bonnes solutions, qui le conduiraient à améliorer de manière stable sa satisfaction. (Le calcul de la satisfaction dépend des résultats des régulations, si bien qu'une amélioration de la satisfaction occasionnelle peut n'être que la conséquence d'une régulation favorable à cet acteur, sans que la distribution d'enjeux correspondante ne soit réellement intéressante)

Le problème peut avoir 2 sources à mon avis : tout d'abord, le nombre de pas relativement faible du recuit simulé. Cela pourrait avoir comme conséquence de ne pas chercher efficacement la solution, et de rester bloqué sur un maximum local.

Cependant je ne pense pas que ce soit la cause principale. Je pense que le vrai problème tiens plutôt à l'inadéquation du recuit simulé pour ce domaine. En effet, si l'on se place du point de vue de l'agent, son environnement est changeant : même s'il ne modifiait pas du tout sa propre répartition d'enjeu, les autres agents le feraient, ce qui signifie que le résultat d'une régulation serait différent, et donc la satisfaction de l'acteur aussi. Dans la majorité des cas, ce problème n'est pas vraiment gênant, car « l'environnement », constitué concrètement par les valeurs des états des relations auxquelles il est lié, ne varie que peu d'une régulation sur l'autre, il est rare qu'un état passe brusquement d'une valeur à son opposée. D'une étape du recuit à l'autre, le changement étant faible on peut considérer que les valeurs sont relativement comparables. Il y a cependant un problème de « dérive ». Prenons le cas suivant :

À un moment donné de la simulation, une valeur très élevée (disons 80) de satisfaction est atteinte. Après cela, durant une vingtaine d'étapes de recuit, les redistributions testées ne seront pas prises, car plus mauvaises et rejetées par le recuit. Or, au cours de ces 20 étapes, un autre agent aura pu complètement inverser sa distribution d'enjeux, et donc modifier complètement la valeur de l'un des états qu'il contrôle. A ce moment là, l'agent qui avait une satisfaction de référence de 80, s'il testait à nouveau sa distribution de référence, n'obtiendrait plus qu'une satisfaction de, disons, 30. Or, toutes les redistributions qu'il va maintenant tester seront proches de sa distribution de référence, et auront donc des scores de satisfaction aux environs de 30. Si la simulation est assez avancée, la phase d'exploration du recuit simulé ne jouera plus, et il ne prendra plus aucune modification d'enjeux. Il restera donc avec une distribution lui donnant une satisfaction faible, alors qu'il existe de nombreuses autres distributions –mais éloignées de celle qu'il a gardé– qui seraient

plus favorables pour lui.

Le problème vient de ce que le recuit simulé suppose que le domaine de valeur de la fonction d'évaluation (ici la satisfaction) reste stable, ce qui n'est pas le cas ici du fait des actions réalisées par les autres acteurs. Le recuit simulé tel qu'il est défini habituellement n'est donc pas bien adapté à notre problème.

On peut proposer une réponse à ce problème, qui n'est que partielle et qui pose un autre problème, mais qui reste cependant intéressante : mettre à jour la satisfaction de référence comme étant l'estimation de la valeur de la satisfaction correspondant à la distribution de référence dans la structure courante.

3.6 amélioration du recuit simulé : mise à jour de la satisfaction de référence

Si l'on considère une structure S donnée, et un acteur particulier A , cet acteur a , pour S , une distribution d'enjeux (disons $\langle 2,3,5 \rangle$) et une satisfaction correspondante (disons 30). Si on teste de petites redistribution d'enjeu pour cet acteur ($\langle 1,9 ; 3,2 ; 4,9 \rangle \dots$) en gardant la structure constante pour tous les autres acteurs (S est identique sauf pour la distribution de l'acteur A), le score de satisfaction de A va être dans la grande majorité des cas très proche de 30 (selon les redistributions, on va osciller entre 29 et 31 par exemple).

En se basant là-dessus, si on veut connaître la valeur de satisfaction d'une distribution D dans une structure S , qu'on ne la connaît pas, mais que l'on connaît les valeurs de satisfaction de 10 distributions proches de D dans cette structure S , on peut ESTIMER la valeur de satisfaction de D dans S comme étant la moyenne des valeurs de satisfaction de ces permutations.

Et en allant encore un peu plus loin, dans le cas présent où à chaque étape on teste une petite variation de D dans une structure S' légèrement différente de S , si à chaque étape on soustrait de la satisfaction de référence (correspondant à D) une partie de la différence entre elle et la satisfaction de sa petite variation dans S' , on fait une ESTIMATION de la satisfaction de D dans la structure S' « actuelle ».

Par ce procédé de mise à jour, qui consiste concrètement à mettre à jour la satisfaction de référence à chaque étape par une partie (1/10 par exemple) de la différence entre la satisfaction de référence et la satisfaction obtenue lors de la dernière régulation (si cette satisfaction est plus faible), on prend en compte le problème de l'environnement dynamique.

On pose par contre deux nouveaux problèmes : d'une part, l'exactitude des valeurs - la majorité des

calculs vont se faire sur des estimations de valeurs et non plus sur les vraies valeurs -, et d'autre part l'impossibilité d'arriver à un état stable. En effet, comme la satisfaction obtenue à chaque étape dépend du résultat d'une régulation, elle va forcément avoir des fluctuations. Or, avec la mise à jour systématique des valeurs, la satisfaction de référence va continuer à descendre jusqu'à arriver à un moment où, lorsque l'on obtiendra une valeur de satisfaction faible suivie d'une valeur de satisfaction élevée, cette dernière sera prise. La conséquence est qu'on n'arrivera jamais à une répartition d'enjeux pour laquelle les agents ne prendront plus jamais de modifications. Le premier problème (calcul sur des valeurs estimées) n'en est pas vraiment un si l'estimation est bien faite, car déjà les résultats des régulations sur lesquels on se base sont des résultats soumis à de l'aléatoire, n'ont pas la précision de valeurs exactes. Pour le deuxième problème en revanche, il y a deux solutions : soit ne pas considérer les dernières répartitions choisies par les acteurs comme pertinentes (n'ayant pas de stabilisation, l'état final n'est pas plus pertinent qu'un état précédent), on pourra concentrer l'étude de l'organisation sur l'étape de satisfaction moyenne maximale. Soit ajouter un mécanisme d'arrêt de la simulation du même type que celui utilisé pour les régulations, c'est à dire une valeur de satisfaction objectif pour chaque acteur, diminuant au fur et à mesure de la simulation, et déclenchant l'arrêt de la simulation lorsque tous les acteurs sont au-dessus de ce seuil. (Cette technique a été implantée et donne de bons résultats)

Résultat : lors de cette simulation, on voit clairement que l'acteur dont on présente le résultat (Fig. 31) aurait vraisemblablement été affecté par le problème décrit précédemment.

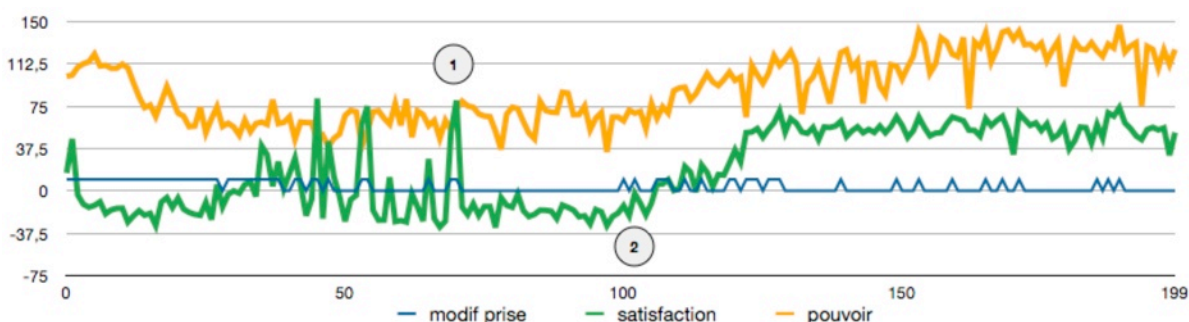


Fig. 31 - Efficacité de l'estimation de la satisfaction réelle de l'acteur

À l'étape marqué (1), une valeur de satisfaction très élevée a été atteinte, mais il s'agit d'un « accident », la structure devait être dans un état instable auparavant, (plusieurs pics irréguliers), et est passée dans un état stable ensuite, défavorable pour l'acteur étudié. Si la valeur de la satisfaction de référence n'avait pas été mise à jour, l'acteur serait probablement resté dans cette structure

mauvaise pour lui, car la différence entre la satisfaction de référence et la satisfaction après régulation est trop importante pour être acceptée par le recuit simulé (ici différence d'environ 100). On voit d'ailleurs ici que pendant une trentaine d'étapes, aucune modification n'est prise. Puis, à l'emplacement marqué (2), la satisfaction de référence mise à jour est devenue suffisamment basse pour que l'acteur puisse à nouveau prendre une redistribution d'enjeux. À partir de là, on voit que de nombreuses redistributions sont prises et que la satisfaction de l'acteur remonte à des valeurs élevées.

3.7 Influence de l'imprécision des régulations.

Même lorsqu'une simulation se passe bien, et converge vers un « bon résultat », on a vu qu'elle ne reste jamais sur de très fortes valeurs de satisfaction globale (ou satisfaction moyenne des acteurs). De plus, des valeurs de satisfaction comparables à celles trouvées par la recherche tabou sont rares. Si le recuit simulé est une cause de ces imperfections, le fait qu'une régulation ait un caractère imprévisible (2 régulations sur une même structure ne donneront pas tout à fait le même résultat), et le fait que les régulations soient généralement sous-optimales (si la meilleure valeur pour un état est 10, la régulation aboutira fréquemment à donner comme valeur 9 à cet état), ne facilitent pas les choses. Pour pallier ce problème, on peut tester le même algorithme, mais en utilisant comme métrique pour évaluer une distribution d'enjeu, non plus la satisfaction obtenue par une régulation, mais la satisfaction de l'acteur pour les valeurs d'états qui maximisent la satisfaction globale pour de la structure testée. Evidemment, cela va à l'encontre de la rationalité limitée des acteurs, puisque pour connaître cette satisfaction optimale, l'acteur devrait connaître ce que l'on cherche à calculer par une régulation.

Les résultats obtenus sont cependant intéressants : comme on peut le voir sur la figure 32, les valeurs de satisfaction moyenne sont à la fois très élevées (bien qu'inférieures au maximum trouvé par la recherche tabou), et stables à ce niveau très élevé. Les résultats sont aussi plus constants : le recuit simulé semble trouver des « bonnes » solutions plus souvent (ce qui peut paraître normal, étant donné que l'on élimine un facteur de variation aléatoire)

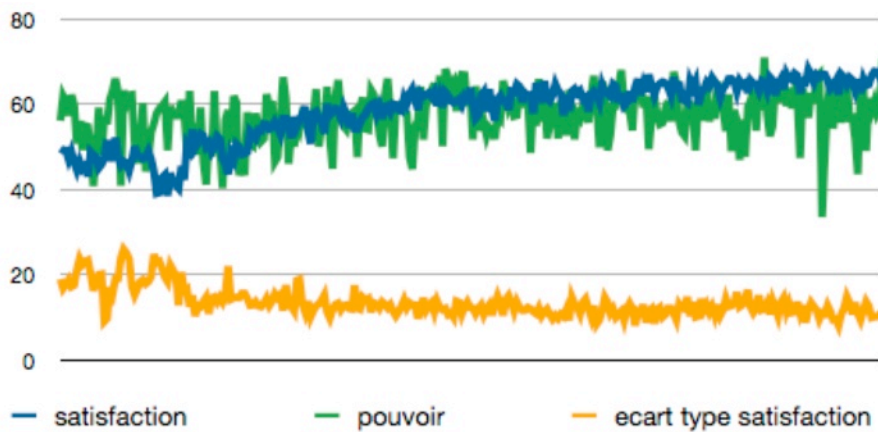


Fig. 32 - recuit simulé n'utilisant plus les régulations pour juger une structure

Par contre, la répartition des enjeux ne semble pas être proche de celle trouvée par la recherche tabou. Cela confirme donc qu'il existe fréquemment plusieurs solutions à peu près équivalentes pour la satisfaction globale, ce qui n'a rien d'étonnant : si toute organisation sociale fonctionne sous un certain de régime de régulation, il existe pour nombre d'entre elles d'autres régimes de régulation, dit latents, selon lesquels cette organisation pourrait tout aussi bien être régulée.

De plus, il semble difficile d'arriver à des valeurs de satisfaction moyenne plus élevées. En effet, étant donné qu'on impose aux acteurs de laisser une partie de leurs enjeux sur chacune des relations initialement non nulles, et qu'il y a des relations pour lesquelles les acteurs sont en conflits, tous les acteurs ne peuvent simultanément avoir une satisfaction beaucoup plus élevée que celles trouvées par les différents algorithmes.

3.8 Encore un problème de maximum local ?

On constate que les simulations ne trouvent jamais la répartition d'enjeux trouvée par la recherche tabou et qui semble optimale. Il y a plusieurs hypothèses à cela : soit la position initiale est trop éloignée de cette position, et l'algorithme n'est pas capable de suffisamment explorer pour le trouver, soit il ne correspond pas à une solution que le recuit simulé peut trouver, pour une autre raison (peut-être moins stable qu'une autre solution, ou non socialement faisable du fait de la non acceptation de cette solution par l'un des acteurs). On a donc réalisé le test suivant : on initialise les enjeux des acteurs du cas bolet aux valeurs trouvées par l'algorithme tabou, puis on lance un recuit simulé. Une fois de plus, on constate que le recuit simulé s'éloigne de la distribution initiale et ne la retrouve pas. Ce n'est donc pas un problème de difficulté à explorer cet état, mais bien autre chose.

3.9 Conclusions sur le recuit simulé

En réalisant de nombreux tests avec la dernière version de l'algorithme (utilisation du recuit simulé,

avec des paramètres correctement configurés, les limites minimales et maximales de valeurs d'enjeux, et la mise à jour des valeurs de satisfaction de référence), on peut considérer que les résultats sont assez satisfaisants. La satisfaction moyenne des acteurs, et de façon générale les satisfactions de chaque acteurs, augmentent de manière significative, lors de la plupart des simulations, et ce dans le cadre d'une rationalité limitée.

Cependant, les valeurs maximales de satisfaction moyenne n'atteignent presque jamais la valeur que l'on avait définie comme « référence », à savoir 65 sur le cas Bolet. On a montré, en exécutant le même algorithme mais sans faire de régulations pour obtenir la satisfaction, que les résultats étaient plus stables et que l'on convergeait plus souvent vers des bons résultats : l'imprécision des régulations a donc une influence. Les mêmes tests ont montrés que même sans les régulations, le recuit simulé ne parvenait pas en général à trouver des solutions aussi bonnes que ce qui est théoriquement possible (lorsque l'on utilise la valeur maximale de la satisfaction sociale au lieu du résultat d'une régulation, la satisfaction moyenne des acteurs devrait atteindre 75 alors que lors du recuit simulé, elle n'atteint en général pas tout à fait les 70).

Afin de chercher un moyen de faire une simulation plus performante, et aussi pour confirmer certains résultats portant sur la façon dont les acteurs tendent à faire évoluer les structures, nous avons décidé d'implanter une nouvelle rationalité pour la régulation, qui reprendrait le système de règles utilisé pour les régulations. Si cette rationalité se révèle efficace, cela permettra de n'avoir qu'un seul type de rationalité, pour la régulation et pour la simulation.

4 Recherche d'un algorithme pour l'évolution de la structure d'une organisation : approche par système de règles.

La deuxième rationalité des acteurs que l'on a choisit de tester consistait à reprendre la rationalité déjà utilisée pour la régulation, à l'adapter au cas des modifications de structure, et ensuite, si le modèle se révélait adapté, à comparer avec le recuit simulé.

Un avantage que l'on connaît déjà de cette approche par rapport au recuit simulé est qu'elle n'est pas sujette au problème de l'environnement dynamique. On peut rappeler que pour le recuit simulé, on s'était rendu compte que l'algorithme original n'était pas adapté à notre problème car du point de vue de l'acteur, son environnement était dynamique, une valeur de satisfaction mémorisée sur une longue période n'était donc plus pertinente. Normalement ce problème ne devrait plus se présenter.

En effet, avec le système à base de règles, on utilise comme facteur de décision la différence avec la valeur de satisfaction de la dernière régulation. Or on a vu qu'à condition que les modifications des acteurs ne soient pas trop importantes, on peut raisonnablement considérer deux structures consécutives d'une organisation comme comparables. Comparer la satisfaction obtenue à l'étape E_i avec la distribution D_i dans la structure S_i et la satisfaction obtenue à l'étape E_{i+1} avec la distribution D_{i+1} dans la structure S_{i+1} n'est donc pas une comparaison exacte, car S_i est bien différente de S_{i+1} , mais d'une part la différence est faible, et surtout la satisfaction ne dépend que des distributions D et D_{i+1} (différence de distribution que l'on veut justement tester) et des valeurs des états. La différence entre S_i et S_{i+1} n'a donc un impact que si elle amène à modifier les valeurs des états. Cet impact n'est donc pas direct, ce qui limite son importance.

4.1 Implantation du système à base de règles

On peut décrire cette nouvelle rationalité par l'algorithme suivant :

- Chaque acteur crée une première règle qu'il choisit pour l'appliquer
- On effectue une régulation

- TANTQUE la simulation n'est pas stable :
 - Chaque acteur mémorise la satisfaction obtenue lors de la dernière régulation
 - Chaque acteur applique la règle choisie
 - On effectue une régulation
 - Chaque acteur compare la nouvelle satisfaction à sa satisfaction mémorisée
 - SI la différence de satisfaction est positive ou acceptable
 - SI il y a une règle mémorisée dont le contexte est proche du contexte actuel
 - Choisir cette règle comme prochaine règle à appliquer
 - SINON
 - Créer une règle
 - SINON
 - Créer une règle
 - Oublier les règles considérées comme inefficaces.
- FIN TANTQUE

La première partie du travail consistait à redéfinir ce qu'était une règle.

Une règle est composée de 2 parties : la partie « contexte », qui définit donc le contexte dans lequel cette règle peut être pertinente, et la partie « effet », contenant les modifications à exécuter pour appliquer la règle.

Dans le cas des régulations, le contexte était composé des valeurs des états des relations liées à l'acteur. Ces relations pouvaient être ou non contrôlées, il y avait donc des valeurs sur lesquelles l'acteur ne pouvait pas agir directement, et des valeurs sur lesquelles l'acteur pouvait agir.

Dans le cas de la régulation, le contexte d'applicabilité d'une règle est plus complexe. Il se compose à la fois des états, comme précédemment, mais aussi des enjeux. En effet, si les enjeux de l'acteur sont dans une disposition X quand une action A c'est révélée efficace, quand on est dans une disposition Y l'action A ne sera pas forcément efficace. Par exemple, une action qui augmente un enjeu lorsqu'il est faible ne sera probablement pas pertinente une fois que cet enjeu sera élevé. D'un autre côté, les valeurs des états ont aussi une influence certaine. Si un acteur trouve favorable d'augmenter son enjeu sur une relation au moment où celle-ci a une valeur d'état élevée, il n'est pas

du tout évident qu'augmenter l'enjeu sur cette même relation lorsque sa valeur d'état sera faible se révélera bénéfique, au contraire.

Pour vérifier que le contexte sera pertinent, on utilisera toujours le principe de la distance euclidienne entre la position dans laquelle a été créée la règle et celle du contexte actuel. Mais pour les simulations, on calculera une distance pour les enjeux et une distance pour les états, et on considèrera le contexte pertinent pour appliquer une règle si les deux distances simultanément sont en-dessous d'un seuil (paramétrable).

Pour la partie « action » de la règle, on la définit simplement comme la liste des modifications d'enjeux à apporter.

4.2 Première étape : modification de ses propres enjeux.

Nous avons choisi de garder entièrement le principe de fonctionnement déjà en place pour les régulations, je ne vais donc pas le décrire en détail, on pourra se reporter à la partie correspondante pour trouver de plus amples informations. Il a fallu modifier certains fonctionnements pour prendre en compte le fait qu'une simulation est généralement plus courte qu'une régulation (fréquemment 2000 ou 3000 pas pour une régulation, dix fois moins pour une simulation).

Mais l'essentiel du travail a porté sur la façon de générer la partie « action » des règles. En effet, le problème était qu'il fallait proposer des modifications qui conservaient à la fois les conditions que nous avions fixées lors de la première partie du travail (pas de valeurs d'enjeux inférieures à 0,5 , somme des relations contrôlées inférieures à 7 et supérieures à 3), mais aussi assurer des modifications qui conserveraient la somme à 10 des enjeux d'un acteur.

4.2.1 Première proposition : modification d'un enjeu avec répartition de la différence sur les autres enjeux.

Le fonctionnement de la rationalité avec le système de règles est différent de celui avec le recuit simulé : dans le recuit simulé, une modification des enjeux est un acte unitaire, il s'agit de tester une modification et de voir si elle est bénéfique ou non. Pour le système de règles, les redistributions ont en quelque sorte un « sens ». Une note leur est attribuée, et on va chercher à appliquer celle qui est la plus efficace dans le contexte donné. Afin de limiter les effets de bords, nous avons choisis de ne pas modifier aléatoirement simultanément tous les enjeux. On choisit plutôt de tirer une modification aléatoire sur un enjeu, et de répartir l'inverse de cette valeur sur tous les autres enjeux. De cette manière, il y a une seule modification « importante », pour laquelle on espère avoir un effet sensible sur la régulation suivante, les autres modifications étant plus limitées.

Cependant l'efficacité du système de règle avec cette redistribution était moindre que celle du recuit simulé, et en cherchant de manière approfondie, je me suis rendu compte du problème suivant : lorsqu'une règle apporte un gain une fois, l'agent essaye de l'appliquer une nouvelle fois aussitôt, et ceci éventuellement plusieurs fois de suite. Or, il se trouve qu'avec les limites que nous avons imposées (enjeux supérieurs à 0,5...), très vite les règles ne sont plus applicables, car au moins l'un des enjeux se trouve à sa limite. Avec le système de redistribution décrit précédemment, toutes les valeurs sauf une sont modifiées dans le même sens, et l'autre est modifiée rapidement dans le sens inverse. Les solutions optimales ayant de plus tendance à être proches des limites (une valeur très élevée et les autres les plus petites possibles), on parviens vite à des distributions pour lesquelles une règle de modification a peu de chances de pouvoir être appliquée. Au moins l'un des enjeux devra passer à une valeur interdite. En conséquence, comme les valeurs des enjeux sont toutes liées les unes aux autres par la contrainte de la somme à 10 des enjeux d'un acteur, si une seule valeur n'est pas acceptable, c'est toute la règle qui ne peut pas être appliquée.

C'est cela qui entraîne un certain nombre de dysfonctionnements limitant l'efficacité de la solution.

4.2.2 Modification de deux enjeux selon le principe des vases communicants.

Afin de limiter la probabilité de tomber sur des règles inapplicables, j'ai essayé de ne plus répartir les enjeux sur toutes les relations, mais au contraire de ne tirer que deux relations, d'en augmenter une d'une valeur aléatoire et de diminuer l'autre d'autant. Les résultats ont été meilleurs qu'avec la version précédente mais le problème était toujours fortement présent.

4.2.3 Répartition des enjeux « au mieux »

Le problème qui se pose est malheureusement inhérent au système de règles fixes, affectant plusieurs variables liées par des conditions. Pour les régulations, les variables à modifier étaient indépendantes les unes des autres, ce qui faisait que lorsqu'une règle amenait un état au-delà de sa limite, celui-ci restait à la limite mais les autres pouvaient être modifiés tels que définis par la règle. Or, dans le cas présent, il faut toujours préserver la somme à dix, ce qui fait qu'un problème sur un seul enjeu empêche toute la règle d'être appliquée.

La seule solution possible pour passer outre consiste donc à trouver un moyen pour appliquer la règle malgré le fait qu'une ou plusieurs des modifications proposées ne soient pas réalisables. Il s'agit d'appliquer la règle « au mieux » de ce que l'on peut faire.

La solution trouvée consiste à appliquer tout d'abord les modifications d'enjeux qui peuvent l'être. Puis pour celles qui posent problème, de répartir les modifications qui n'ont pas pu être apportées

sur d'autres enjeux. Par exemple, si un enjeu X1 à une valeur de 0,5 et qu'il doit être diminué de 0,4, et que d'un autre côté l'un des enjeux X2 à une valeur de 4, X1 va rester à 0,5 et X2 sera ramené à 3,6.

Le problème de cette solution est qu'elle ne respecte pas certaines conditions du système à base de règle. En effet, théoriquement une règle est gardée car on sait quel effet elle va avoir, et qu'on juge cet effet favorable, il est donc logique que l'appliquer à nouveau dans un contexte proche donne de bons résultats. Mais avec une répartition « au mieux », on ne va pas appliquer la règle qui aura été sélectionnée comme la meilleure exactement telle qu'elle est décrite, on va la modifier avant de l'appliquer. Il a donc fallu effectuer un certain nombre de tests pour s'assurer de l'efficacité de cette méthode. Cependant il est apparu rapidement que les avantages de cette méthode (toujours pouvoir appliquer les règles) contrabalançait largement les effets négatifs. Par exemple sur 10 régulations lancées sur le cas Bolet sans la méthode « au mieux », la satisfaction moyenne des acteurs en fin de régulation est d'environ 54 alors qu'en utilisant la méthode « au mieux », elle atteint 64.

Cette méthode permet donc bien d'obtenir une meilleure coopération entre les acteurs.

4.3 Comparaison du recuit simulé et du système de règles

Si l'on compare les versions les plus performantes en terme de coopération du recuit simulé et du système à base de règles, il est clair que c'est ce dernier qui est le plus performant. La satisfaction moyenne en fin de régulation est meilleure, que ce soit sur les cas complexes tels que le cas Bolet ou les cas plus simples tels que des dilemmes du prisonnier à 2 ou 3 acteurs.

Cependant si on observe les résultats trouvés, on constate qu'ils sont souvent assez semblables, ce sont souvent les mêmes relations sur lesquelles les acteurs décident de concentrer leurs enjeux, mais la solution par système de règles donne juste des résultats plus constants et parviens mieux à « optimiser » les résultats, c'est à dire que si un enjeu doit être le plus haut possible pour avantager un acteur, le système de règle va l'amener, par exemple, à 7 alors qu'avec le recuit simulé il ne serait qu'à 6,5.

On peut noter une forte différence dans la façon dont la régulation se fait en comparant les courbes d'évolution de la satisfaction moyenne des acteurs.

Pour le recuit simulé, les courbes sont généralement assez progressives, la satisfaction oscille d'abord, puis augmente, et enfin tend à se stabiliser autour d'une valeur assez haute (Fig. 33).

Pour le système de règles au contraire, les valeurs continuent à osciller, les acteurs sont en dialogue permanent, on atteint périodiquement des états de coopération, puis le système replonge dans un état non coopératif, etc (Fig. 34).

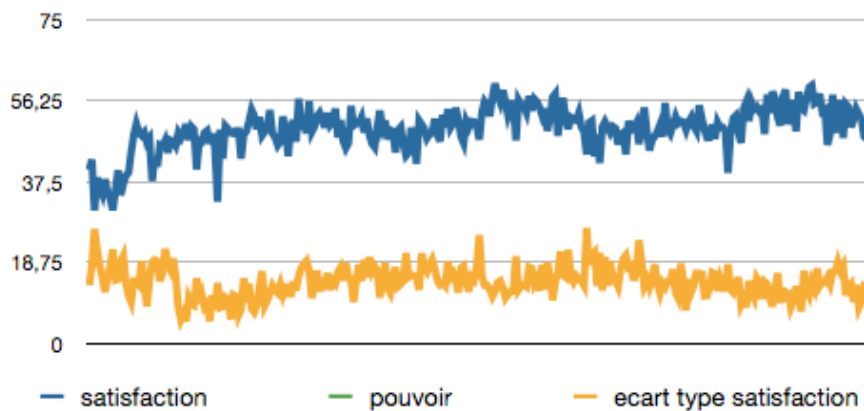


Fig. 33 - Simulation type avec le recuit simulé

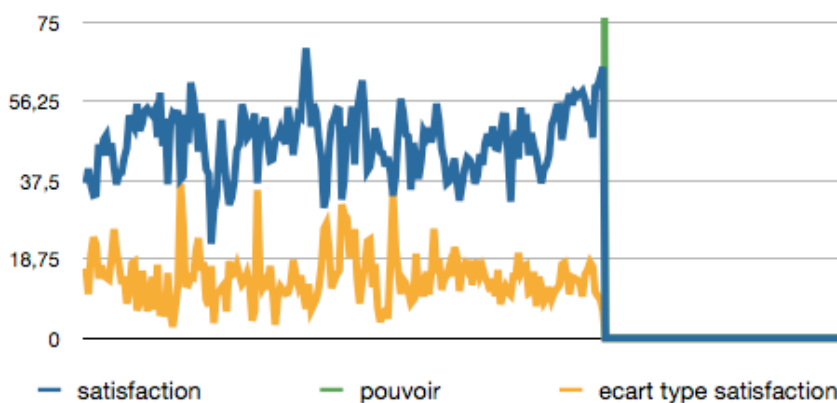


Fig. 34 - Simulation type avec le système de règles

Pour le système de règles il est donc crucial que le mécanisme d'arrêt d'une régulation lorsque l'on atteint un état suffisamment coopératif (mécanisme contrôlé notamment par la variable d'opiniatreté) soit efficace, sans quoi on risquera de s'arrêter dans une situation non coopérative.

4.4 Approche par agents cognitifs

En observant le fonctionnement des régulations, et la façon dont les acteurs parviennent à retirer de la satisfaction, je me suis demandé s'il n'était pas possible de rendre les agents plus « intelligents » au niveau de leur exploration des solutions possibles, tout en conservant la propriété de la rationalité limitée, c'est à dire sans étendre la vision qu'ils ont de l'organisation.

On peut remarquer que la satisfaction d'un acteur peut être décomposée en la somme des satisfactions partielles qu'il retire de chaque relation. Cette satisfaction partielle est le score de cette relation pour cet acteur (dépendant de la fonction d'effet de l'acteur et de la valeur de l'état de la

relation) multiplié par l'enjeu de l'acteur sur la relation. L'acteur ne peut modifier que ses enjeux, mais il semble donc logique que s'il décide d'augmenter son enjeu sur les relations ayant les meilleurs scores et de le diminuer sur celles ayant les plus mauvais scores, sa satisfaction augmentera. Ce mécanisme peut paraître simpliste, mais dans les faits comme les changements opérés par les acteurs sur leurs enjeux ont aussi un effet sur la valeur des états après régulation, les relations les plus intéressantes pourront changer, et la solution ne sera donc pas triviale. Reste le problème des maximums locaux. En effet une fois que les acteurs ont trouvé une bonne solution avec ce mécanisme, ils ne pourrons pas en trouver d'autres, et resterons sur cette solution probablement sous-optimale. J'ai donc essayé de rajouter un mécanisme pour sortir de ces maximums locaux. En analysant les meilleures solutions trouvées par les autres algorithmes, on peut se rendre compte que souvent les différents maximums locaux sont radicalement opposés les uns des autres. Quand on a trouvé une répartition d'enjeux correspondant à un maximum local qui est, par exemple, $\langle 1, 1, 8 \rangle$, une autre solution de maximum local ou global sera par exemple $\langle 8, 1, 1 \rangle$, et rarement $\langle 2, 2, 6 \rangle$.

Le mécanisme que j'ai rajouté consiste donc, lorsque l'on atteint un maximum local, à « basculer » complètement la valeur de deux enjeux proches des extrêmes. Ensuite on laisse les acteurs chercher un nouveau maximum local et ainsi de suite.

Les résultats sont très intéressants, sur tous les cas simples la solution est toujours optimale, au moins aussi bonne qu'avec les meilleurs résultats des autres méthodes. Sur les cas plus complexes, comme le cas Bolet, les résultats sont aussi très bon, généralement supérieurs à ceux des autres méthodes. En observant la courbe d'évolution des satisfactions moyennes sur le cas Bolet par exemple, on constate que l'on obtient très rapidement une très bonne solution : c'est le premier maximum local. Puis il y a de très fortes variations à chaque fois qu'un acteur tente un basculement important de sa distribution d'enjeux, avant un retour à une valeur élevée et ainsi de suite (Fig. 35).

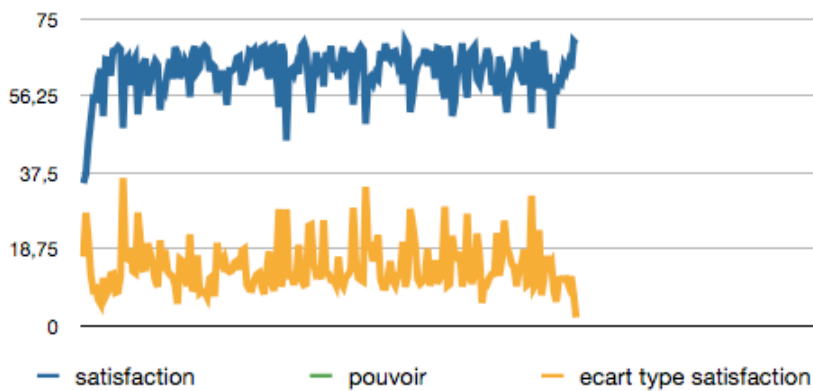


Fig. 35 - Simulation avec les agents "cognitifs"

Cependant, il faut garder en mémoire que cette méthode se rapproche d'une simple descente de gradient, un mécanisme très simple et très sensibles aux maximums locaux. Et c'est le mécanisme de basculement des enjeux que je lui ai ajouté qui seul permet d'éviter ce problème. Cependant la plausibilité sociologique de ce comportement, si elle n'est pas exclue, reste à prouver. Cette solution est donc gardée en parallèle aux précédentes.

4.5 Modifications des enjeux des autres acteurs

La modification par les acteurs de leurs propres enjeux a permit de montrer qu'il était possible, par l'action simultanée de plusieurs agents cherchant à améliorer leur propre satisfaction, de transformer une organisation afin de la rendre plus propice à la collaboration, ou en tout cas à une meilleure satisfaction de chacun des acteurs.

Nous nous sommes ensuite posés la question de savoir si les acteurs pouvaient parvenir à améliorer de la même façon leur satisfaction en modifiant non plus leurs enjeux, mais ceux des autres acteurs. L'idée sous-jacente est que, fréquemment dans une organisation, un acteur n'a pas la possibilité de vraiment changer ses « besoins », définis par sa propre distribution d'enjeux. Si par exemple il dépend fortement de la relation A et peu de la relation B, il est probable qu'il ne puisse pas continuer à effectuer le même travail s'il ne se sert plus de la relation A, même si en contrepartie il se sert beaucoup de la relation B. Par contre, un acteur peut essayer de modifier les besoins qu'on les autres acteurs des relations qu'il contrôle. Cela revient à essayer d'augmenter son pouvoir au sein de l'organisation, en rendant les relations que l'on contrôle indispensables aux autres.

4.5.1 Implantation de la modification des enjeux des autres

J'ai décidé pour l'implantation de reprendre le système de règles, tel qu'il a été défini dans la section précédente, c'est à dire en utilisant la répartition des enjeux « au mieux ». De nombreux problèmes se sont posés pour conserver la somme à 10 des enjeux des autres acteurs, en particulier

dans les cas où les enjeux d'un acteur étaient modifiés simultanément par plusieurs acteurs. En effet, chaque acteur a la possibilité de modifier (augmenter ou diminuer) l'enjeu que les autres acteurs attribuent sur les relations qu'il contrôle. Mais devant toujours garder la somme à 10 de ces autres acteurs, il faut impacter la différence sur les autres relations des autres acteurs. Un acteur dépendant de plusieurs relations contrôlées par des acteurs différents verra donc ses enjeux modifiés plusieurs fois lors d'une étape de simulation.

Au-delà de ces obstacles techniques, la principale différence est en fait au moment de la création d'une règle. Le contexte est maintenant défini comme l'ensemble des valeurs des états des relations auxquelles l'acteur est lié, et des valeurs des enjeux qu'il a la possibilité de modifier. Quand à la partie « action », il s'agit des modifications qui doivent être apportées aux enjeux qu'il peut maintenant modifier. (Donc les enjeux portés par d'autres acteurs sur des relations qu'il contrôle).

4.5.2 Première étape : un seul acteur modifie les enjeux des autres.

Afin de se rendre compte de l'efficacité que peuvent avoir ces modifications, on commence par permettre à un seul acteur de faire des modifications. Le but ici n'est pas d'améliorer l'organisation pour tous les acteurs, mais seulement de permettre à un acteur « d'arranger » l'organisation en sa faveur. Les résultats seront analysés un peu plus loin, par la corrélation entre pouvoir et satisfaction. On peut se contenter pour l'instant de constater qu'un acteur est capable par ce procédé d'améliorer fortement sa satisfaction.

4.5.3 Modification simultanée pour tous les acteurs

Sur les cas très simple, tel qu'un dilemme du prisonnier à deux acteurs, la modification des enjeux des autres acteurs faite par tous les acteurs simultanément donne des résultats satisfaisants en terme d'augmentation de la satisfaction moyenne. Les résultats sont globalement équivalents à ceux obtenus avec les techniques précédentes, c'est-à-dire que l'organisation tend généralement vers un fonctionnement plus collaboratif. Avec les techniques précédentes, si l'on partait d'une organisation neutre les acteurs avaient tendance à concentrer leurs enjeux sur les relations qu'ils contrôlaient. Ici au contraire, en fin de régulation les acteurs ont beaucoup d'enjeu sur la relation dont ils dépendent. Ce qui est logique car maintenant les acteurs peuvent changer l'attitude des autres acteurs envers eux, et donc ayant comme possibilité de les rendre plus dépendants (besoin de collaboration) ou moins dépendants, ils se rendent compte qu'ils augmentent leurs scores lorsque l'autre est plus dépendant d'eux-mêmes.

Mais lorsque l'on essaye de faire la même chose sur une organisation plus complexe, les résultats

sont peu convaincants. Je ne suis pas parvenu à expliquer de manière définitive pourquoi cela ne marche pas, mais on peut émettre au moins deux hypothèses :

- Présence de bruit trop importante. Du fait qu'un acteur puisse agir sur plusieurs autres acteurs, il y a un nombre très important de modifications à chaque étape de simulation. L'effet de la règle appliquée par un acteur peut en fait avoir été contrebalancé par la règle appliquée par un autre acteur, et l'effet perçu ne pas être pertinent. Ceci peut aussi être interprété sociologiquement : dans une organisation comme par exemple une entreprise, de trop nombreux changements, une absence de stabilité, conduisent à des entreprises peu performantes, au point de vue de leur fonctionnement mais aussi du point de vue des acteurs de l'organisation eux-mêmes. [Carley, 1998]

- Le mécanisme se base sur la coopération, beaucoup plus qu'avec le système précédent. On a vu sur les cas simples que l'organisation résultante était plutôt collaborative (peu d'acteurs concentrant leurs enjeux sur ce qu'ils contrôlent). Or, on sait que lors des régulations, il est plus difficile d'obtenir une bonne satisfaction dans un cas demandant beaucoup de collaboration que dans le cas contraire. Peut-être donc que les solutions vers lesquelles on tend avec la modification des enjeux des autres sont trop difficiles pour les régulations, les acteurs ne peuvent alors voir l'effet réel des modifications qu'ils provoquent.

4.6 Corrélation entre pouvoir et satisfaction

L'hypothèse d'une corrélation entre pouvoir et satisfaction avait déjà été émise avant même que l'on ne s'intéresse aux modifications de structure, mais n'avait pas été vérifiée expérimentalement. La possibilité donnée à un acteur de modifier les enjeux des autres acteurs selon la façon décrite dans la partie précédente est intéressante car elle consiste à essayer d'améliorer sa satisfaction en agissant sur son pouvoir. On se concentre ici sur le pouvoir structurel, c'est à dire une grandeur qui ne dépend que des valeurs des enjeux et de l'amplitude des fonctions d'effets.

Première remarque : augmenter son pouvoir n'a pas forcément un effet positif sur sa satisfaction. Prenons le cas d'un dilemme du prisonnier simple à 2 acteurs, A et B. L'acteur A a une distribution d'enjeux qui demanderait de la collaboration : il a la majorité de son enjeu sur la relation dont il dépend. Pour avoir une bonne satisfaction il faut donc que l'autre acteur accepte de collaborer avec lui. L'acteur A est l'acteur qui peut agir sur l'enjeu de l'acteur B. Dans ce cas, si l'acteur A cherche à augmenter son pouvoir, il va augmenter l'enjeu que B va porter sur la relation contrôlée par A. De ce fait, l'acteur B va se trouver lui aussi dans une situation où il a intérêt à collaborer, puisqu'il a maintenant la majorité de son enjeu sur la relation qu'il ne contrôle pas (celle contrôlée par A). Or

on sait que si les 2 acteurs ont intérêt à collaborer, la collaboration va se faire, et l'acteur A aura donc une bonne satisfaction. Plus il va augmenter son pouvoir, plus la collaboration aura tendance à bien se faire et plus il aura de satisfaction.

D'un autre côté maintenant, si l'acteur A n'a pas intérêt à collaborer, la majorité de son enjeu étant sur la relation qu'il contrôle, ce qui se passe est radicalement différent. On constate dans les faits qu'augmenter ou baisser son pouvoir n'a pratiquement aucun effet.

On sait que, l'acteur ayant la majorité de son enjeu sur ce qu'il contrôle et étant dans un dilemme du prisonnier, il n'aura jamais intérêt à collaborer sur la relation qu'il contrôle, il mettra l'état de cette relation à la valeur qui l'arrange lui, sans considération pour l'acteur B, car elle est trop importante pour lui. Le seul moyen d'augmenter sa satisfaction serait que l'acteur B accepte de collaborer sur la relation qu'il contrôle. Mais l'acteur A ne pouvant pas se servir de sa relation contrôlée comme « monnaie d'échange » pour négocier, l'acteur B n'aura jamais intérêt à collaborer. (On constate effectivement que dans une régulation, les acteurs ne collaborent jamais s'ils n'ont pas une relation monnaie d'échange, une raison de le faire). Donc, quelle que soit la distribution de B et donc le pouvoir de A, la satisfaction de A sera fixe. (C'est la satisfaction qu'il peut obtenir par la relation qu'il contrôle)

La première règle que l'on peut tirer est donc que :

(1) seuls les acteurs ayant besoin de la collaboration ont intérêt à augmenter leur pouvoir.

D'autres tests ont permis de montrer que plus un acteur avait besoin de collaboration, plus il avait intérêt à augmenter son pouvoir.

Une autre constatation peut être faite, cette fois sur la relation entre les fonctions d'effet. Dans le dilemme du prisonnier classique, les fonctions d'effets des acteurs sur une relation sont inversés. Si l'on reprend maintenant le dilemme précédent avec les mêmes acteurs A et B, mais que, sur la relation contrôlée par A, on rend les deux fonctions d'effet (celle de A et celle de B) identiques (Fig. 36) .

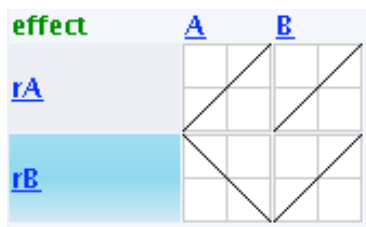


Fig. 36 - Variante du dilemme du prisonnier à 2 acteurs

L'acteur A a une distribution dans laquelle il a besoin de la collaboration. Donc d'après la règle précédente, il aurait intérêt à augmenter son pouvoir. Cependant avec les fonctions d'effet identiques, la relation qu'il contrôle n'est plus une « monnaie d'échange ». En effet, quels que soient les enjeux portés par les 2 acteurs sur cette relation, la valeur de son état restera inchangé, ce sera la valeur optimale pour les 2 acteurs.

La deuxième règle est donc que :

(2) seul est important le pouvoir obtenu par une relation « conflictuelle ».

J'appelle conflictuelle une relation pour laquelle les fonctions d'effets des acteurs en jeu ne sont pas semblables.

Reste la grosse difficulté de définir exactement quelles sont les fonctions d'effets semblables. Pour des fonctions linéaires, il n'y a pas de problèmes, mais toute sorte de fonctions peuvent être définies dans le modèle, et cela devient beaucoup plus complexe.

A partir des règles (1) et (2), j'ai essayé de définir une grandeur qui serait le « pouvoir structurel utile », c'est à dire une valeur qui permet de représenter la possibilité qu'a un acteur pour peser sur le comportement des autres lors de la régulation, et donc les chances d'obtenir une bonne satisfaction, même s'il est fortement dépendant des autres.

J'ai obtenu certains résultats, mais qui ne fonctionnent pas dans certains cas. En effet si les tendances générales peuvent être décrites par les règles (1) et (2), il est difficile de connaître exactement l'influence de chacune, sans compter la difficulté de définir quelles relations sont « conflictuelles ». Dans ce domaine, l'algorithme qui semble donner les meilleurs résultats consiste à utiliser deux valeurs : d'une part la différence entre les valeurs d'état correspondant aux deux maximas des fonctions, et d'autre part la différence minimale entre la valeur d'un maxima et la valeur de l'autre fonction pour la valeur d'état correspondant à ce maxima. En combinant ces 2 valeurs on peut obtenir une valeur représentant le conflit entre ces relations.

Exemples simple :

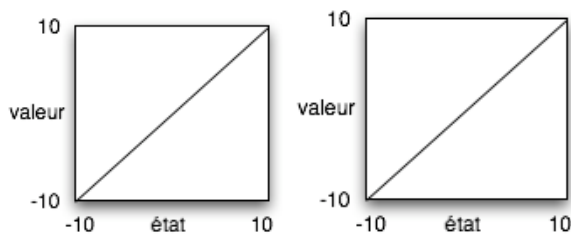


Fig. 37 - fonctions d'effet non conflictuelles

Figure 37 : Comparaison des maximas : différence d'état : 0, différence de valeur : 0

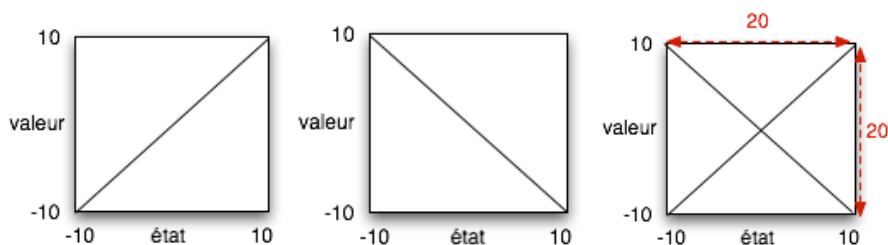


Fig. 38 - fonctions d'effet complètement conflictuelles

Figure 38 : Comparaison des maximas : différence d'état : 20, différence de valeur : 20

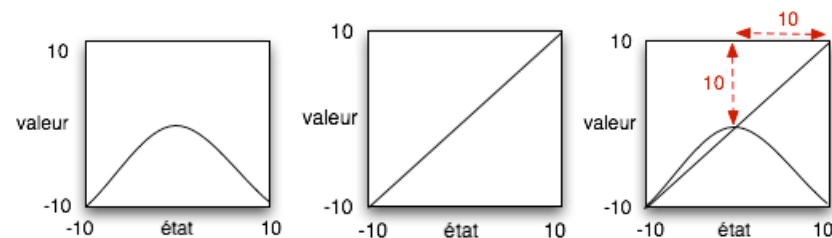


Fig. 39 - fonctions d'effet partiellement conflictuelles

Figure 39 : Comparaison des maximas : différence d'état : 10, différence de valeur : 10

Je ne suis pas parvenu à trouver dans la littérature un moyen plus efficace de comparer 2 fonctions, quelles que soient leur type, de manière à obtenir une valeur utilisable dans notre cas. La première approche que j'ai essayé d'utiliser, à base de dérivées, n'a pas donné de résultats concluants à cause de la complexité possible des fonctions. En effet des fonctions qui peuvent sembler très similaires peuvent être conflictuelles si elles sont opposées sur leurs maximas, et d'autres fonctions qui peuvent sembler très différentes peuvent ne pas être conflictuelles du moment qu'il existe une valeur d'état pour laquelle les 2 fonctions sont maximales. (Les acteurs n'ont pas besoin de négocier pour changer la valeur de l'état de cette fonctions, puisqu'elle ne peut pas être meilleure)

Conclusion

Bilan

Tout au long de ce travail, nous avons étudié la façon dont des agents ayant des buts individuels conflictuels pouvaient agir sur la structure d'une organisation dont ils sont les acteurs. Nous avons à cette fin étudié plusieurs méthodes, d'abord un recuit simulé, qui a donné des premiers résultats mais qui s'est révélé partiellement inadapté dans son principe, du fait que l'environnement de chaque acteur, dépendant des actions des autres acteurs, est dynamique. J'ai proposé une solution à ce problème, qui a permis d'améliorer les résultats.

Nous avons ensuite fait l'hypothèse que la rationalité des acteurs pour l'évolution de la structure d'une organisation pouvait être de même type que leur rationalité par apprentissage pour la régulation, et j'ai donc adapté le modèle conçu par Mathias Mailliard et Joseph El Gemayel aux modifications de structure. Après avoir résolu certains problèmes dus aux contraintes imposées par la structure de l'espace de recherche, les résultats se sont révélés très bons, et sont venus confirmer ce qui avait déjà été obtenu avec le recuit simulé.

Une autre méthode a été donnée aux acteurs pour leur permettre de faire évoluer la structure : modifier les enjeux des autres acteurs, ce qui revient à leur faire modifier leurs objectifs. Cette méthode s'est révélée efficace lorsqu'un seul acteur cherche à modifier la structure de l'organisation, mais pas lorsqu'ils le font tous ensemble. Des acteurs agissant simultanément les uns sur les autres pour essayer d'améliorer leur propre satisfaction n'aboutissent pas à une amélioration de la satisfaction moyenne de tous les acteurs.

Nous sommes donc parvenus à définir plusieurs variantes de rationalités des acteurs leur permettant de modifier une organisation de manière à la rendre plus propice à la coopération.

Mais nous avons également analysé les conditions et les conséquences de ces évolutions de structure, quelles propriétés de la structures allaient amener les acteurs à faire évoluer la structure dans un sens ou dans un autre.

Perspectives

Nous sommes parvenus à proposer un modèle de la rationalité des acteurs sociaux leur permettant de faire évoluer la structure de l'organisation dont ils font partis. Mais les modifications qu'ils peuvent apporter à cette organisation ne sont encore que partielles : nous n'avons étudié que l'effet

de modifications portant sur des enjeux, soit les leurs, soit ceux des autres acteurs. On pourrait aussi s'intéresser à la création et à la suppression d'enjeux, ce qui poserait de nouvelles questions. On pourrait aussi s'intéresser à la modification des fonctions d'effets, bien que celle-ci pose des problèmes particuliers (comment modifier ces fonctions, selon quelle logique, sachant que le modèle permet de définir une quasi-infinité de fonctions différentes). Enfin, on pourrait aussi étudier l'effet de l'ajout et de la suppression d'acteurs ou de ressources dans l'organisation.

Chacune de ces possibilités d'évolutions feraient certainement apparaître de nouveaux comportements des acteurs, et permettraient de mieux comprendre la dynamique de l'évolution d'une organisation lorsque les acteurs de cette organisation eux-mêmes sont à l'origine de cette évolution.

Bibliographie

- P. Bernoux : La sociologie des organisations Editions du Seuil, collection «Points », 1985
- K.M. Carley, adaptive organizations and emergent forms, Third International Conference on Multi Agent Systems (ICMAS'98), 1998
- M Crozier Le phénomène bureaucratique, Editions du Seuil Paris, 1963
- M. Crozier, E. Friedberg : L'acteur et le système : Les contraintes de l'action collective, Seuil, 1977.
- J. El Gemayel : Etude d'un algorithme modélisant la Rationalité des Acteurs Sociaux, Stage M2R équipe SMAC, 2008
- M. Etienne : SYLVOPAST: a Multiple Target Role-Playing Game to Assess Negotiation Processes in Sylvopastoral Management Planning. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, vol. 6, 2003.
- N. Gilbert, KG. Troitzsch : Simulation for the social scientist, McGraw-Hill International, 2005
- C. Lafaye : La sociologie des organisations, coll.128, Nathan, 1996
- M. Mailliard : Formalisation Multi-Agents de la Sociologie de l'Action Organisée. Thèse 2008
- M. Mailliard, F.Amblard, C. Sibertin-Blanc : Coopération is not always so simple to learn, 2005.
- P. Roggero, C. Vautier, C. Sibertin-Blanc, P. Chapron, F. Adreit, S. Sandri : Une ontologie de la sociologie de l'action organisée. Rochebrune, 2009.
- P. Roggero, C. Vautier, C. Sibertin-Blanc, P. Chapron, F. Adreit, S. Sandri : Formalisation de la SAO : modélisation du cas Bolet, 2007
- T. Sontheimer, P. Cornuau, J-J. Vidal & P. Glize : Application d'un système adaptatif pour la prévision des crues dans le bassin de la Garonne - Un modèle émergent, SIRNAT'01 - Systèmes d'Information et Risques Naturels, 2001.
- F. Squazzoni : The micro-macro link in social simulation, Sociologica, 2008
- KG Troitzsch : Social science simulation-origins, prospects, purposes. Simulating social phenomena, Lecture Notes in Economics and Mathematical systems.