

ACADEMIE DE MONTPELLIER
UNIVERSITE MONTPELLIER II
-SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGEDOC-
DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES
-INFORMATIQUE-

MODELES MULTI-AGENTS POUR LA DECISION COLLECTIVE

FREDERIC AMBLARD

Date de soutenance : 30 Juin 1999

Tuteurs de stage : Nils FERRAND (Cemagref-LISC), Jacques FERBER (LIRMM)

REMERCIEMENTS

Je remercie tout particulièrement Nils Ferrand, pour son enthousiasme communicatif pour ce stage en particulier et pour tous les projets qu'il peut mener en général.

Je remercie aussi Jacques Ferber, pour avoir permis la réalisation de ce stage, et pour, sans le savoir, m'avoir, par son livre et plus tard par ses cours, intéressé aux systèmes multi-agents.

Je remercie Robert Lifran pour m'avoir initié, en me fournissant une large littérature, à la théorie des jeux et pour m'avoir réellement intégré à son projet de recherche.

Je remercie François Bousquet et Christophe Le Page, pour m'avoir accueilli au CIRAD et formé à CORMAS en me prodiguant des conseils précieux.

Je remercie l'ensemble de l'équipe du projet Politiques Publiques et dynamique paysagère au Sud du Massif Central, pour leur accueil sympathique et bienveillant.

Je remercie Alexis Ferrand pour s'être intéressé à mon travail et pour avoir donné l'expertise nécessaire à la réalisation du modèle sous MADKIT.

Je remercie surtout Stéphane Bernard, Sandrine Bois, Guillaume Deffuant, François Goreau, Sylvie Huet, Lambert Rousseau, somme toutes l'ensemble des permanents du LISC de Clermont-Ferrand pour l'ambiance que chacun apporte et que tous peuvent trouver.

Je remercie la promotion 1999 des stagiaires du LISC et du Cemagref de Clermont-Ferrand, pour les pauses cafés et les échanges qui vont avec...

Je remercie enfin la promotion 99 du DEA Info Montpellier qui a su apporter une ambiance studieuse et une solidarité certaine au cours du semestre que j'ai pu passer sur Montpellier.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
1.MODELISATION DE LA DÉCISION COLLECTIVE ET SIMULATION SOCIALE	5
A.LA DÉCISION COLLECTIVE	5
<i>a. Une problématique générale de la décision collective.....</i>	5
<i>b. Les modèles de décision collective basé - individus.....</i>	6
<i>c. Approche de la décision collective par les réseaux sociaux.....</i>	15
B.LES SYSTÈMES MULTI-AGENTS ET LA SIMULATION SOCIALE.....	18
<i>a. La simulation sociale.....</i>	18
<i>b. Systèmes Multi-Agents et Simulation sociale.....</i>	20
2.MODELE STRUCTUREL DE LA DÉCISION COLLECTIVE SOUS MADKIT.....	29
A.MADKIT.....	30
B.LE MODÈLE.....	32
<i>a. Problématique liée aux relations entre acteurs.....</i>	32
<i>b. Problématiques des créations de relations.....</i>	36
<i>c. Modélisation de la dynamique relationnelle.....</i>	40
<i>d. Normes, innovation et dynamique décisionnelle.....</i>	42
<i>e. Innovation et changement de normes.....</i>	43
<i>f. Substitution de normes.....</i>	43
<i>g. Résolution de conflits de normes.....</i>	44
<i>h. Dynamique relationnelle et dynamique décisionnelle.....</i>	45
<i>i. Mise en oeuvre multi-agents.....</i>	45
C.DISCUSSION	47
3.MODELE EXCEL	50
A.LA PLATEFORME MULTI-AGENTS MS-EXCEL ?	50
B.LE MODÈLE D'UTILITÉ ATTENDUE.....	51
C.DISCUSSION	53
4.MODELE CORMAS	55
A.CORMAS	55
B.LE MODÈLE.....	58
C.DISCUSSION	67
5.DISCUSSION.....	68
COMPARAISON DES TROIS PLATE-FORMES MADKIT, MS-EXCEL, CORMAS.....	68
POURSUITE DE CE TRAVAIL	68
<i>Problématique.....</i>	69
<i>Méthodologie.....</i>	70
CONCLUSION	71
BIBLIOGRAPHIE	72

INTRODUCTION

Ce mémoire de DEA Informatique a été réalisé à l'issue de la formation théorique dispensée sur Montpellier et le stage en laboratoire a été réalisé au Cemagref - LISC de Clermont-Ferrand, dans le cadre d'un projet mené en collaboration entre l'INRA, le CIRAD et le Cemagref sur l'étude des Politiques Publiques et des Dynamiques Paysagères au Sud du Massif Central, dirigé par Robert Lifran (INRA-ESR). Le travail à réaliser dans ce cadre là était un modèle multi-agent couplant une dynamique relationnelle en suivant une approche réseaux sociaux et une dynamique de la décision collective, le but étant d'étudier le lien qui existait entre décision individuelle et décision collective. La modélisation de ces processus apparaît actuellement comme étant une des problématiques centrales en matière de politique publique pour l'aménagement et la gestion du territoire, tout comme la prise en compte des structures sociales dans l'expression de ces processus (DARRE et coll. 1994).

Ce rapport se présente en cinq parties. Dans la première, nous réaliserons un état de l'art ç la fois en matière de modélisation de la décision collective en précisant tout à la fois l'approche qui peut en être faite à partir des modèles de décision basé-individu (routiniers, utilitaristes, fonctionnalistes) et l'alternative proposée par la théorie des réseaux sociaux, qui consiste pour la décision collective à prendre en compte les phénomènes structuraux dans le processus de décision collective. D'autres part, nous exposerons un état de l'art en matière de simulation sociale, vue dans sa globalité (théorie des jeux, micro-simulation, automates cellulaires) et en particulier l'utilisation des systèmes multi-agents pour la simulation sociale (éthologie, biologie, sociologie).

Ensuite, nous aborderons les différents modèles et simulations que nous avons pu réaliser en matière de décision collective. En premier lieu le modèle développé sous la plate-forme multi-agent Madkit du LIRMM, qui couple les dynamiques relationnelles et décisionnelles au sein d'un modèle multi-agent hétérogène, en utilisant la théorie des réseaux sociaux pour l'une comme pour l'autre. Nous approfondirons les problématiques soulevées par ce modèle ou ce type de modélisation puis nous spécifierons ce modèle en discutant autant le modèle lui-même que la plate-forme employée.

Puis, nous aborderons un deuxième modèle de décision collective, qui correspond à une distribution du modèle d'utilité attendue de Bueno de Mesquita (BUENO DE MESQUITA, 1992). Ce modèle issu de la théorie des jeux et de la sociologie quantitative, est implémenté en suivant une méthodologie multi-agents sous MS-Excel envisagé ici comme une plate-forme multi-agent potentielle. Nous discuterons la distribution du modèle ainsi que l'utilisation de MS-Excel comme une plate-forme multi-agents.

Dans la partie suivante, nous aborderons le modèle de décision collective développé dans le cadre du projet Politiques Publiques et paysages au sud du Massif central et qui couple deux modèles, l'un relationnel qui s'appuie sur la structure du réseau social et l'autre décisionnel à une échelle supérieure sur des sous-groupes du réseau social global. L'ensemble de ce modèle étant implémenté sous la plate-forme multi-agents CORMAS. Nous discuterons de ce modèle et de son implémentation ainsi que de l'utilisation de cette plate-forme.

Enfin, nous discuterons et comparerons brièvement les trois plates-formes utilisées et les modèles implémentés en donnant une perspective d'avenir à cette étude.

1. MODELISATION DE LA DECISION COLLECTIVE ET SIMULATION SOCIALE

Actuellement, les institutions qui gravitent autour de l'agri-environnement s'intéressent très particulièrement aux problèmes de décision collective, surtout en ce qui concerne l'aménagement et la gestion du territoire. Après une succession de politiques publiques diverses et variées concernant l'aménagement du territoire, on s'est intéressé peu à peu à la manière dont étaient perçues ces politiques par les individus concernés par celles-ci. Leur échec, notamment en Lozère (LIFRAN, 1999), a poussé à l'interrogation. Pourquoi est-ce que les acteurs locaux n'ont pas accepté cette (en l'occurrence ces) politique(s) ? Et, dès lors, quelle politique mettre en œuvre de manière à ce qu'elle soit tout à la fois efficace en matière d'aménagement du territoire et applicable, dans le sens où les acteurs prendront à la fois la décision individuelle d'y adhérer et influenceront le plus possible sur la décision collective pour une adhésion collective ? Nous le voyons bien dans cette question, nous soulèvements ici, trois composantes relativement distinctes du problème, dans un premier temps la décision individuelle, puis l'influence inter-acteurs et enfin la décision collective.

En ce qui concerne le processus de décision individuelle et dès lors que l'on s'intéresse à l'action des acteurs (action de gestion, d'occupation du territoire, pratique agricole), l'école béhavioriste (GERVET, 1987) affirme "l'action est un comportement". Ce faisant, on ôte à l'individu toute responsabilité, tout pouvoir de réflexion, à écarter l'existence et la complexité du processus de prise de décision ou à le considérer comme résolu. La prise de décision est bien le processus qui détermine l'action et donc le rôle que joue l'individu dans l'organisation (BOUSQUET, 1994). L. Sfez (SFEZ, 1984), quant à lui, réalise une revue des théories sur la décision, que ce soit la théorie cartésienne de la décision comme un processus linéaire composé de la conception du projet, de sa délibération, de la décision puis de la satisfaction du désir ; ou la théorie de Peretti qui considère que la décision réside dans la structuration du champ des possibles ; jusqu'aux théories de l'homme multi-rationnel ou de l'"homo erraticus" ou l'homme aléatoire. Cependant, dans le contexte qui est le notre, nous tenterons d'éviter autant que possible cette problématique en prenant simplement pour hypothèse qu'il existe bien un phénomène de décision individuel, nous nous pencherons alors davantage sur les deux autres aspects de la décision collective, qui sont les influences interpersonnelles au sein d'un réseau social et par la suite, l'émergence d'une décision collective.

Ces questions représentent un domaine de recherche important, en particulier au Cemagref en ce qui concerne d'une part la gestion des territoires, les pratiques paysagères en faisant partie et la gestion des ressources partagées, en particulier l'eau et les problèmes afférents à une gestion collective de l'eau et des pratiques agricoles polluantes. Elles soulèvements des problématiques interdisciplinaires, comme c'est le cas des problématiques de décision collective qui nous intéressent : quel est le lien entre la décision individuelle et la décision collective, et comment la structure sociale, génératrice d'influences interpersonnelles, intervient dans ces phénomènes ?

A. LA DECISION COLLECTIVE

A. UNE PROBLEMATIQUE GENERALE DE LA DECISION COLLECTIVE

La décision collective a longtemps été considérée en suivant l'approche assez réductrice de la négociation, comme liée aux disciplines diplomatiques. Par la suite, les psychologues, ont apporté une approche plus descriptive du phénomène de la décision collective et moins de l'art de la

négociation, en considérant que la décision collective mettait en jeu non seulement une ou des situations mais aussi des interactions entre acteurs. Depuis une soixantaine d'années, de nouvelles approches sont apparues concernant les descriptions de la décision collective englobant généralement les aspects particuliers à la négociation, c'est le cas de la théorie des jeux dans les années cinquante (SCHELLING, 1960), des théories structurelles qui insistent surtout sur les mécanismes du pouvoir entre individus, des théories dites du "processus" qui voient dans la négociation une succession de phases tantôt concertatives, tantôt conflictuelles combinant de nombreux facteurs stratégiques, et enfin des théories de caractère plutôt normatif comme l'approche de la négociation "raisonnée" (FISHER et URY, 1981).

La compréhension de la décision collective passe ainsi par l'appréhension d'un système à cinq composantes (DUPONT, 1992) : les acteurs comme entités siège de la décision individuelle, la structure dans laquelle s'inscrivent les acteurs, les différentes stratégies que peuvent mettre en place les acteurs, les processus de décision collective et le résultat de celle-ci.

La problématique réside essentiellement dans le passage entre le niveau individuel et le niveau agrégé qui est celui d'une société d'individus, comme le précise l'aphorisme trop connu « une société est plus que la somme des individus qui la composent ». Face à cela, nous pouvons distinguer plusieurs types de modèles de la décision collective. D'une part les modèles basés-individus, qui, en s'appuyant davantage sur le concept "décision" de la décision collective, envisagent la décision collective comme l'agrégation des décisions individuelles de l'ensemble des acteurs ou agents qu'ils considèrent. La théorie qu'ils proposent alors de la décision collective, ne peut se passer d'une théorie de la décision individuelle. D'autre part, en suivant l'approche structurale qui s'appuie plutôt sur le concept de "collectivité" dans la décision collective, nous pouvons envisager de ne savoir rien (ou presque) de la décision individuelle et pourtant étudier tout de même les phénomènes de décision collective. Pour reprendre, le paradigme de Minsky (MINSKY, 1988) sur la conduite automobile, nous conduisons une voiture sans connaître en détail le fonctionnement de cette voiture, ainsi la théorie structurale permet de se prononcer sur une décision collective sans avoir forcément de théorie psycho-cognitive sous-jacente de la décision individuelle.

B.LES MODELES DE DECISION COLLECTIVE BASE - INDIVIDUS

On peut schématiquement classifier les modèles basés-individus en quelques groupes : les modèles utilitaristes, issues des sciences économiques et notamment de la théorie des jeux, les modèles fonctionnalistes qui s'appuient sur la théorie fonctionnaliste et enfin les modèles délibératifs.

1.Modèles utilitaristes

Les modèles utilitaristes, très courants en économie et en particulier en théorie des jeux, prennent globalement appui sur une théorie de la décision individuelle, ou plus simplement, sur une loi ou une règle de décision individuelle, qu'ils appliquent par agrégation sur l'ensemble des acteurs du modèle. Un biais peut être introduit à partir de là pour exprimer les misperceptions des acteurs ou le fait que les acteurs ne prennent pas toujours une décision parfaitement rationnelle, en jouant sur la rationalité des acteurs au sens de la capacité à déterminer un comportement optimal en fonction d'une somme d'information donnée (SIMON, 1955) et sur l'information disponible pour les acteurs.

En dehors de ce type de modèle, certains peuvent introduire, en plus de l'agrégation des théories individuelles de la décision, une perturbation sociale sous la forme de pouvoirs relatifs ou

d'influence relative entre acteurs. Dans le cadre de ce type de modèle, nous allons présenter deux des modèles qui ont servi de base aux modèles de décision collective qui seront présentés par la suite. Bien que pouvant être identifiés et bien qu'étant cités (LAZEGA, 1999) comme des modèles de décision collective de type réseaux sociaux, nous les classerons dans la catégorie des modèles utilitaristes par le fait qu'ils utilisent la notion d'utilité et que la structure sociale introduite dans ces modèles, n'est prise en compte que par l'initiation à dire d'experts des variables de perturbation sociale (pouvoir inter-acteurs ou influence relative des acteurs sur la décision collective finale).

Ainsi, nous nous intéressons à deux modèles utilitaristes issus de la même " école ", celle de l'Université de Groningen aux Pays-Bas. Les deux modèles dynamiques reflètent deux visions alternatives de la décision collective concernant des problèmes politiques. Ce sont les modèles d'une part de Bruce Bueno de Mesquita (BUENO DE MESQUITA (1994)), qui modélise la décision collective ou l'émergence d'un consensus dans un groupe d'entités politiques par un jeu non-coopératif, la résolution des conflits opposants deux à deux les entités politiques, et le conflit portant sur la solution à apporter à un problème donné. Le second modèle est de F.N. Stokman et R. Van Oosten (STOKMAN and VAN OOSTEN(1994)), qui, eux, modélisent le consensus dans le jeu politique, autrement dit, la décision collective émergente d'un groupe d'acteurs en ce qui concerne le choix des solutions à apporter à un ensemble de problèmes, par l'échange de position politiques. Dans ce dernier modèle, les entités politiques concernées par plusieurs problèmes simultanément, échangent deux à deux leurs positions politiques sur des problèmes donnés, nous pourrions aborder cette modélisation sous forme de négociation de positions politiques, sur plusieurs enjeux, entre acteurs. Ainsi, ce dernier modèle ne fait pas de différences fondamentales entre échanges économiques et prise de décision politique.

1. Bases communes aux deux modèles

a. Hypothèses communes

A l'origine de ces modèles, se trouvent des hypothèses et des principes forts, induits, entre autres, par l'appartenance à cette école. Il s'agit tout d'abord de l'*hypothèse d'uni-dimensionnalité* de l'ensemble des solutions à apporter à un problème donné, c'est à dire qu'une solution possible de la décision doit pouvoir être représentée comme un point sur la droite représentant l'ensemble des solutions possibles. Il faut noter que la droite en question peut être réduite à un segment de droite, l'hypothèse forte étant la continuité des valeurs sur la ligne, c'est à dire que lorsque l'on réalise une moyenne sur deux valeurs de l'ensemble des positions, nous voulons que cette moyenne soit signifiante. Certains problèmes comme la taille d'un budget semblent remplir ce critère facilement, mais pour d'autres problèmes du type vote politique dans lequel l'expression du vote se limite soit au choix d'une liste soit à un vote de type Oui/Non, des techniques de réalisation de questionnaires particulières sont requises pour transformer les différentes alternatives en une échelle continue (BAARDA, 1996).

La seconde hypothèse est que les acteurs ont une fonction de préférence qui à chaque état de l'acteur associe une et une seule valeur représentative de la préférence de l'acteur, cette hypothèse étant relativement faible par rapport à la première, elle exprime simplement le fait qu'un acteur ne peut pas se positionner sur une portion de la droite, ou du segment de droite, représentant les solutions possibles, mais sur un seul point de cette droite.

b. Philosophie commune

Les solutions collectives ne peuvent être expliquées sans références aux choix réalisés par les acteurs dans leur système social. En suivant le principe de conception d'abstraction décroissante de (LINDENBERG, 1992), pour lequel "un modèle doit être aussi simple que possible et aussi complexe que nécessaire", nous définissons ainsi, à un niveau d'abstraction élevé, un modèle de

l'homme, *l'homo socio-oeconomicus*, (LINDENBERG, 1990), qui associe à chaque acteur, d'une part des buts communs à tous les acteurs, les *buts universaux* qui peuvent correspondre au bien-être physique ou à l'approbation sociale et d'autre part des buts qui diffèrent suivant les acteurs, les *buts instrumentaux*, qui peuvent être définis comme étant des buts intermédiaires concernant les moyens de réaliser les buts ultimes de l'acteur. Une instanciation de ce modèle, particulièrement intéressante en ce qui concerne la détermination des buts instrumentaux particuliers des différents acteurs a été réalisé dans (ORMEL and all., 1997) pour tenter de réaliser une corrélation entre bien être physique des personnes hospitalisées, leur confort et leur encadrement social.

Dans la perspective de *l'homo socio-oeconomicus*, les solutions collectives défendues, les positions politiques des acteurs, peuvent être perçues comme des buts instrumentaux : si une solution peut produire du bien être physique ou de l'approbation sociale à un ensemble d'individus α , une autre solution peut être meilleure pour un autre groupe d'individus β , ainsi la différence entre les solutions choisies s'exprime comme une différence de buts instrumentaux pour les acteurs, qui partagent tous les mêmes buts universaux, le bien être physique et l'approbation sociale.

Pour un problème de décision collective donné, des différences de buts instrumentaux entre acteurs résultent deux corollaires. Tout d'abord, ce qui est considéré comme un problème important pour un acteur peut très bien ne pas l'être pour un autre. D'autre part, les différences de buts instrumentaux entre les acteurs résultent en des positions politiques divergentes des acteurs sur les problèmes. Par conséquent, les acteurs peuvent se comporter différemment malgré l'assertion qu'ils sont rationnels dans le sens où ils cherchent à maximiser leur bien-être ou remplir leurs buts universaux. Ainsi, deux individus possédant la même information et possédant bien sûr les mêmes buts universaux, peuvent malgré tout avoir des objectifs instrumentaux radicalement différents et ainsi des positions politiques différentes.

c. Attributs communs

Le modèle de *l'homo socio-oeconomicus* induit un certain nombre d'attributs caractéristiques de l'acteur dans le cadre particulier de la modélisation de la décision collective. Ainsi, l'importance d'un problème d pour un acteur i s'exprime par la *saliency* que l'acteur i attache au problème d (s_{id}). La solution au problème d que l'acteur i désire est exprimé par la *position politique* de l'acteur sur ce problème (x_{id}). Ces deux éléments, position politique et saliency, sont combinés dans une fonction d'utilité qui spécifie pour chaque acteur, la valeur que l'acteur accorde à chaque alternative possible pour la résolution du problème en question. La position politique représente alors le point sur la droite des solutions possibles du problème, auquel correspond l'utilité maximale pour l'acteur. Pour chaque acteur, les utilités des autres alternatives (que sa position politique) sont supposées être proportionnelles à la distance les séparant de la position politique de l'acteur, ceci en prenant en compte la saliency du problème pour l'acteur considéré. Ainsi, plus une alternative est éloignée de la position politique de l'acteur, moins elle est susceptible de lui convenir.

Le second problème à résoudre concerne la transformation des préférences des acteurs en une solution collective au problème, une décision finale. Cette étape requiert un troisième élément pour lequel les acteurs diffèrent fondamentalement, il s'agit de leur *capacité* à influencer la solution collective (c_{id}). Dans les deux modèles c'est le troisième élément empirique qui doit être spécifié dans un champ d'application particulier. Les deux modèles diffèrent légèrement par leurs assertions au sujet de la spécification de cette transformation. Le modèle d'utilité attendue de Bueno de Mesquita prend la position du voteur médian pour prédire la solution, cela correspond pour ainsi dire à la définition d'un acteur "moyen", là où, le modèle d'échange de Stokman et Van Oosten, utilise la moyenne des votes comme solution prédite et adoptent la solution du vote démocratique.

La similarité des jeux de variables et des assertions de base dans les deux modèles permet de comparer leurs hypothèses sur la dynamique dans le processus de prise de décision.

Le modèle d'utilité attendue de Bueno de Mesquita détermine qu'un acteur va s'opposer aux positions politiques d'autres acteurs s'il évalue une utilité positive (à l'aide de sa fonction d'utilité attendue) à cette confrontation possible avec les autres acteurs, les conflits étant réalisés entre paires d'acteurs. Dans ce processus, des acteurs peuvent être obligés de prendre des positions politiques moins attractives pour eux s'ils n'ont pas de meilleures alternatives. Ces confrontations peuvent même résulter en des changements forcés ou négociés de positions politiques pour certains acteurs et ainsi impliquer des changements dans la solution collective prévue. Ce processus est répété jusqu'à stabilisation de la décision collective.

Le modèle d'échange de Stokman et Van Oosten prend, lui, comme hypothèse, que la dynamique du processus de décision provient de la possibilité qu'ont les acteurs d'échanger leurs positions de vote sur un ensemble de décisions. Par exemple, considérons deux acteurs avec des positions politiques opposées sur deux problèmes. Supposons que le premier acteur est moins intéressé par le premier problème que par le second et vice-versa en ce qui concerne le second acteur. Alors, les deux acteurs peuvent s'attendre à gagner en utilité si le premier acteur adopte la position politique du second acteur en ce qui concerne le premier problème et ceci en échange du soutien du second acteur pour renforcer sa position sur le second problème. Dans ce modèle, les acteurs ne s'affrontent pas les uns les autres, ils coopèrent en échangeant leurs positions de vote sur les différents problèmes pour obtenir une meilleure solution pour chacun des deux acteurs de l'échange. Là où les acteurs ont un comportement stratégique dans le modèle d'utilité attendue, ils sont "bienveillants" et coopératifs dans le modèle d'échange.

2. Le modèle d'utilité attendue de B. Bueno de Mesquita (BUENO DE MESQUITA, 1994)

Dans ce modèle d'utilité attendue, le processus de décision collective est perçu comme une résolution des conflits entre acteurs, un jeu non-coopératif, dans lequel chaque acteur cherche à maximiser son utilité.

Dans ce modèle, les problèmes ne sont pas liés entre eux. Pour chaque problème, nous réalisons une analyse séparée. L'élément dynamique dans le processus de décision tient dans la capacité des acteurs d'affronter la position politique d'autres acteurs.

La (figure) schématise les choix qu'un acteur i peut faire vis à vis de n'importe quel autre acteur j . Il peut affronter l'acteur j ou décider de ne pas le faire. S'il affronte l'acteur j , celui-ci peut abandonner ou non. Si j abandonne, celui-ci devra supporter la position politique de l'acteur i . Si, par contre, l'acteur j résiste, il y a de nouveau deux possibilités : soit l'acteur i l'emporte, soit c'est l'acteur j . Un autre cas de figure possible provient de l'occasion où l'acteur i ne s'oppose pas à l'acteur j (partie gauche de l'arbre de la Figure 1). Dans ce cas, même si l'acteur j ne va pas se comporter en fonction de l'attaque de l'acteur i , il peut malgré tout prendre en compte d'autres attaques de la part d'autres acteurs et ceci peut entraîner une nouvelle solution politique plus ou moins bonne du point de vue de l'acteur i . Ainsi, avant de réaliser son choix, à savoir affronter ou non la position politique de tel ou tel acteur, chaque acteur calcule l'utilité de chaque alternative et sa probabilité d'occurrence. Pour ceci, l'agent i doit pouvoir estimer l'utilité et la probabilité d'occurrence du point de vue de l'agent j . Ici, le modèle simule la misperception qu'un acteur peut avoir du jeu d'un autre, par le fait que les acteurs ne prennent pas en compte les différents niveaux de prises de risque des autres. Les calculs prennent cependant en compte le soutien que les acteurs peuvent obtenir de la part des autres.

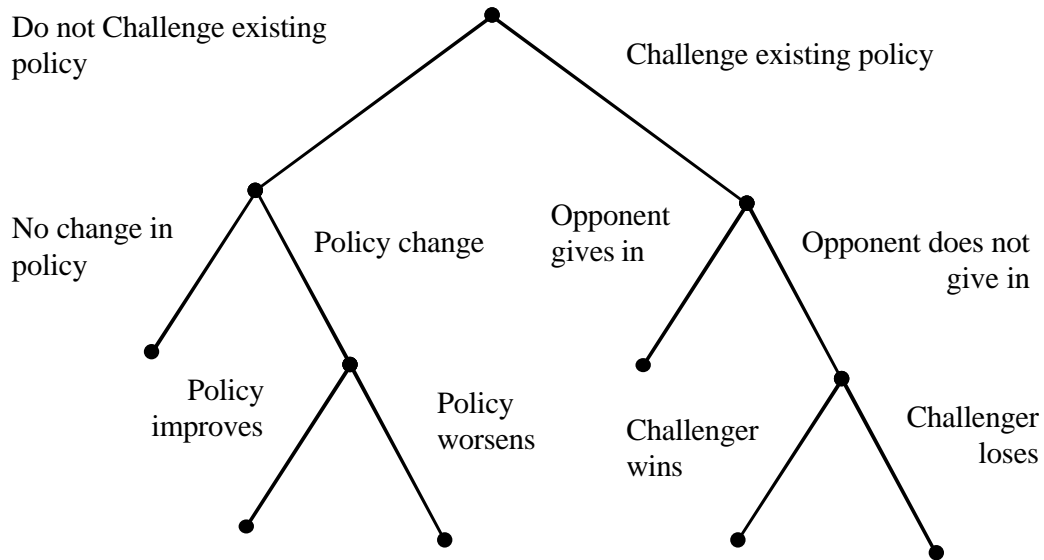


Figure 1 Le problème décisionnel

L'utilité attendue pour l'agent i de s'opposer à l'acteur j peut être calculée comme suit. La probabilité que l'acteur j accepte une confrontation avec l'acteur i correspond à la salience que l'acteur j accorde au problème d considéré : s_{jd} . La probabilité qu'a l'acteur j d'abandonner est donc $(1 - s_{jd})$. Dans ce dernier cas, l'acteur j adoptera la position politique de l'acteur i . L'utilité pour l'acteur i que l'acteur j change de position politique pour adopter la sienne est notée $u^i \# x^+_{jd}$. Si l'acteur j accepte la confrontation avec l'acteur i alors ce dernier peut perdre ou gagner. Si l'acteur i l'emporte alors, il en retirera la même utilité $u^i \# x^+_{jd}$. En revanche, si l'acteur i perd, il devra soutenir la position politique de l'acteur j . L'utilité négative que l'acteur i en retire alors est $u^i \# x^-_{jd}$. La probabilité de succès ou d'échec de l'acteur i dans le cas d'un conflit avec l'acteur j dépend alors du pouvoir relatif de i sur j , noté p_{ij} . Ce pouvoir relatif dépend de l'influence que chaque acteur est prêt à investir et du soutien que chacun d'entre eux peut attendre de la part d'autres acteurs. L'utilité attendue pour l'acteur i de s'opposer à la position politique de l'acteur j est égale à :

$$E^i u^i \# x_{jd} / opposition = s_{jd} (p_{ij} \cdot [u^i \# x^+_{jd}] + (1 - p_{ij}) \cdot [u^i \# x^-_{jd}]) + (1 - s_{jd}) \cdot [u^i \# x^+_{jd}]$$

De la même manière, nous pouvons calculer l'utilité attendue pour l'acteur i dans le cas où celui-ci ne rentre pas en opposition avec l'acteur j . Si nous supposons que le fait de ne pouvoir anticiper sur les changements individuels des autres acteurs conduit les acteurs à ne pas changer les appuis qu'ils apportent à d'autres acteurs. L'utilité que l'acteur i retire d'un tel statu quo est notée $u^i \# x^0_{jd}$. L'utilité attendue sans qu'il y ait affrontement, retirée par l'acteur i est alors :

$$E^i u^i \# x_{jd} / Pasd'opposition = u^i \# x^0_{jd}$$

L'utilité totale attendue par l'acteur i relativement à l'acteur j est alors égale à :

$$E^i u^i \# x_{jd} = E^i u^i \# x_{jd} / opposition - E^i u^i \# x_{jd} / Pasd'opposition$$

L'élément dynamique du modèle de Bueno de Mesquita peut être schématisé par la Figure 2. Sur l'axe des abscisses, on représente l'utilité attendue de l'acteur i relativement à l'acteur j . Sur l'axe des ordonnées, nous portons l'estimation que fait l'acteur i de l'utilité attendue dans le cas d'un conflit de l'acteur j vers l'acteur i . L'acteur i va s'opposer à la position politique défendue par

l'acteur j , seulement s'il estime l'utilité qu'il va en retirer supérieure à celle que l'acteur j peut en retirer (secteurs 1,8 et 7). L'acteur j réagit suivant sa propre perception de la situation qui n'est pas nécessairement la même que celle de l'acteur i , ceci par le fait de la misperception de l'utilité attendue par l'autre acteur. Sur les bases de cette combinaison, le modèle prédit quels acteurs vont s'affronter, si les acteurs dont les positions politiques sont attaquées réagissent ou non et quelle sera l'issue de la confrontation. Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, le modèle ne conduit pas toujours à une position politique consensuelle, nous pouvons très bien avoir stabilisation du processus en ayant plusieurs groupes d'acteurs défendant des points de vue différents et dont aucun n'a intérêt à affronter un quelconque acteur dès lors qu'il retire davantage d'utilité à n'affronter la position politique de personne.

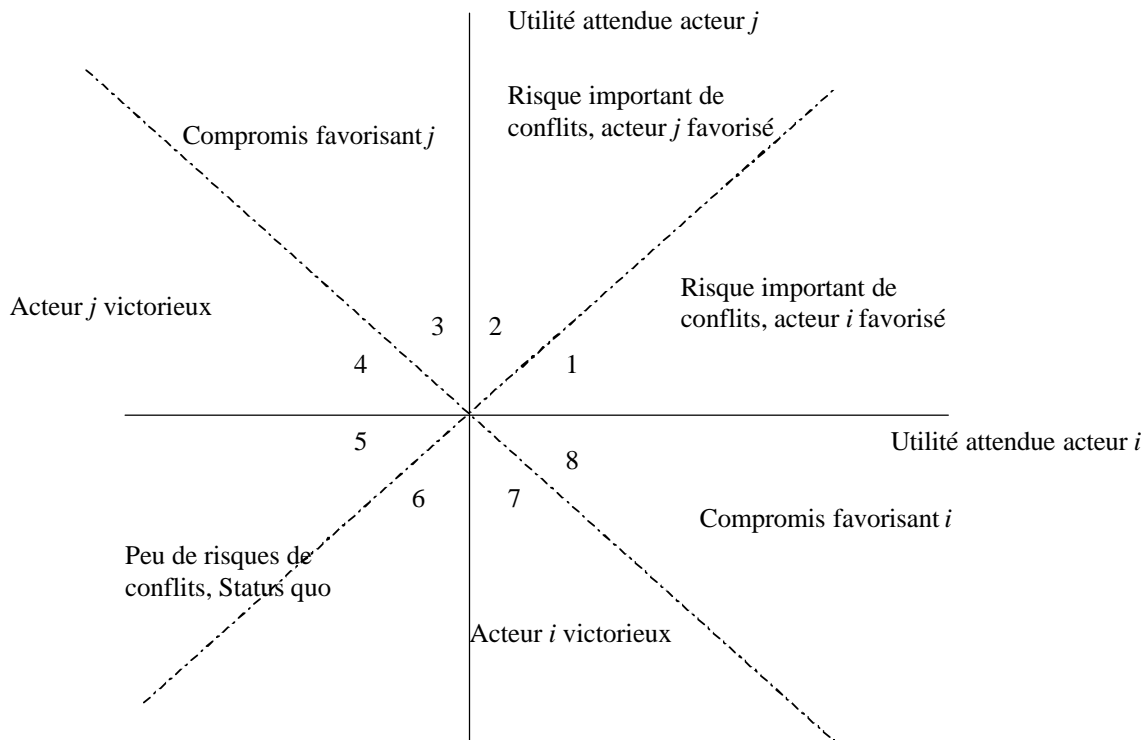


Figure 2 Dynamique du modèle décisionnel

3. Le modèle d'échange de F.N. Stokman et Van Oosten (STOKMAN and VAN OOSTEN, 1994)

Dans ce modèle, le processus de décision collective est conçu comme un jeu coopératif dans lequel chaque acteur peut gagner sous certaines conditions et dans lequel les promesses de changement de positions politiques sont introduites sous la forme d'engagements mutuels.

Le modèle d'échange de Stokman et Van Oosten est basé sur les mêmes trois éléments que ceux qui ont été utilisés dans le modèle de Bueno de Mesquita : salience, position politique et capacité d'influence. En revanche, contrairement au modèle de Bueno de Mesquita, les problèmes sont liés entre eux. Les acteurs sont prêts à voter pour une autre position que leur position politique relativement à un problème, si un autre acteur veut faire un changement similaire dans sa direction sur un autre problème. Dans leur modèle, Stokman et Van Oosten restreignent les échanges aux acteurs qui ont des avis opposés concernant la solution à apporter à deux problèmes distincts. Ces acteurs n'ont pas d'autres possibilités que celle d'échanger pour accroître simultanément leur utilité.

Pour voir plus en détail les conditions de l'échange, considérons deux acteurs i et j et deux problèmes d et e . Supposons que le problème d est relativement plus important pour i que pour j . En d'autres termes, il s'agit du problème soutenu par l'acteur i et donc du problème à échanger pour l'acteur j . Pour le problème e , la situation est exactement l'inverse, c'est donc le problème retenu par j et le problème à échanger pour i . Ceci implique que l'acteur i demande à l'acteur j de prendre une position plus favorable à i sur le problème d . En échange l'acteur i fera de même pour le problème e , retenu par j . Nous notons ainsi une nouvelle variable, la *position de vote* de l'acteur qui est différente de la position politique, en ce sens que l'acteur ne change pas de conviction concernant le problème, il a simplement négocié l'issue d'un autre problème en changeant son vote, l'amalgame est rapidement fait entre position politique et position de vote, la position politique représentant le point d'utilité maximale en dehors de toute interaction, correspondant alors à la position de vote initial, nous utiliserons dans la suite tout aussi bien le terme de position politique que celui de position de vote, les considérant tous deux comme équivalents. Les conditions de l'échange entre deux acteurs sont alors :

- Un changement de position de vote sur le problème considéré devra résulter en un changement positif dans la solution attendue. En d'autres termes, le changement de vote a un effet sur l'issue globale du conflit, l'acteur qui soutient cette position a reçu un soutien qui lui est utile pour la défense de son point de vue.
- Les deux acteurs accordent une salience positive au problème soutenu par chacun.
- La salience de l'acteur i concernant le problème d soutenu par i (respectivement la salience de l'acteur j sur le problème e) devra être plus importante que la salience de l'acteur i concernant le problème à échanger par i , e (respectivement la salience de j pour d). Il faut noter que la condition est aussi vérifiée lorsque les deux problèmes e et d sont moins importants pour l'acteur i que pour l'acteur j aussi longtemps que l'acteur i attache relativement plus d'importance au problème d . Bien sûr, l'échange est aussi possible si la salience de l'acteur j concernant le problème échangé d est nulle :

$$s_{ja} = 0 \quad \text{ou} \quad \frac{s_{id}}{s_{jd}} < \frac{s_{ie}}{s_{je}} \quad (si \quad s_{jd} > 0)$$

Si ces trois conditions ne sont pas remplies, une solution peut seulement être obtenue par la résolution d'une expression conflictuelle du problème, dans laquelle nous pouvons bien évidemment avoir recourt au modèle de Bueno de Mesquita (BUENO DE MESQUITA, 1994).

Dans le modèle classique de Stokman et Van Oosten (classique dans le sens où il correspond à une vision centralisée de l'implémentation), tous les échanges potentiels sont calculés et triés par gain d'utilité décroissante. Comme un acteur ne peut pas donner sa position de vote deux fois, chaque échange réalisé affecte tous les acteurs et pas seulement les deux partenaires de l'échange, dans le sens où il influe sur la solution finale des problèmes qui ont fait l'objet d'un échange. Le gain final d'utilité réalisé peut aussi être différent de ce que les acteurs attendent sur la base de leurs propres échanges et ceci par le fait que l'exécution soit réalisée de manière centralisée en exécutant les uns après les autres chacun des échanges. Ainsi, des changements ayant lieu au fur et à mesure, les échanges ne sont plus réalisés dans les conditions dans lesquelles ils avaient été prévus. Nous pouvons cependant décider de se placer dans des conditions de rationalité parfaite en exécutant à chaque fois seulement l'échange d'utilité la plus forte puis recalculer l'ensemble des échanges, nous nous placerons dans ces conditions lorsque l'on implémentera le modèle dans le

système multi-agent en utilisant une communication synchrone entre agents. Si l'on ne se place pas dans ces conditions de rationalité parfaite, il est tout à fait possible que les solutions obtenues soient sous-optimales pour l'ensemble des acteurs.

2. Le fonctionnalisme

Le fonctionnalisme en tant que théorie sociologique, soutient que des formes d'organisations sociales sont fonctionnelles pour la société. Par un exemple un peu provocateur mais couramment employé pour décrire le fonctionnalisme, il est fonctionnel pour les femmes de rester à la maison pour surveiller les enfants. Ainsi le statut et les revenus différents entre hommes et femmes sont fonctionnels pour l'ensemble de la société. La décision collective d'un point de vue fonctionnaliste, correspond alors à une solution fonctionnelle pour l'ensemble de la société.

Or il y a deux problèmes avec le fonctionnalisme. Le premier d'entre eux, est que le fonctionnalisme explique l'existence d'une forme sociale en prétendant que cette forme est fonctionnelle pour la persistance d'un ordre social, il explique ainsi une cause au moyen de ses effets. Le second problème est que le fonctionnalisme analyse les faits sociaux comme ils sont lors de l'analyse, il fournit ainsi une analyse statique, figée, de la société ou du phénomène social. Ainsi les modèles de décision fonctionnalistes réalisent-ils une analyse statique de la décision collective à un moment donné en trouvant dans des formes d'organisations sociales une explication à la décision collective.

3. Modèles de décision délibératifs chez les agents

1. Architecture BDI

Les modèles de décision délibératifs sont mis en place en particulier dans les architectures d'agents délibératifs ou agents intentionnels (RAO et GEORGEFF, 1992), (COHEN et LEVESQUE, 1988) construits sur une architecture BDI (Belief, Desire, Intentions).

Les croyances de ces agents dérivent directement d'une approche objet, symbolique avec une logique associée. Ces représentations que l'on peut considérer comme étant des représentations objets correspondent à un mode de représentation très employé en pratique. L'agent maintient en mémoire un réseau d'objets formant une image, reproduction partielle de son environnement, des autres agents, etc... Il évalue les transformations de l'univers, la satisfaction de ses propres buts au travers ce réseau d'objets et chaque agent maintient une liste des sites spatiaux et des autres agents rencontrés, dans un repère spatial qui lui est propre.

Les désirs associés aux agents de type BDI correspondent tout à la fois à des visions du monde futur, à des buts ou des objectifs cohérents (la cohérence étant ici symbolique d'un désir rationnel), et à des plans (RAO et GEORGEFF, 1992) pour la réalisation des buts et objectifs de l'agent. Les plans correspondent, par exemple, dans le cas particulier d'ordonnement de cubes (FERBER, 1995) (figure, Figure 4), à des schémas d'actions applicables pour atteindre des buts ou objectifs finaux ou partiels.

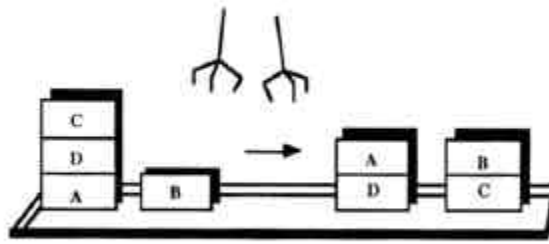


Figure 3 Problèmes d'ordonancement de cubes

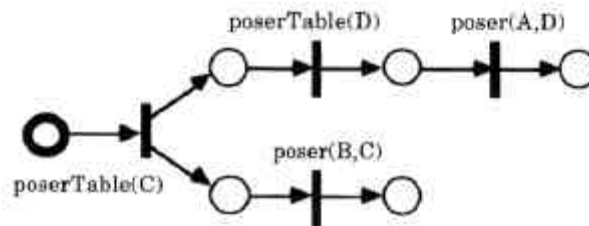


Figure 4 Plan pour la résolution d'objectifs dans le cadre d'ordonancement de cubes

La troisième composante des architectures BDI, l'intention ou intentionnalité est obtenue à partir des buts par la notion d'engagement, dans (COHEN et LEVESQUE, 1988) « Intention is choice with commitment »¹.

L'architecture interne de ces agents est un élément essentiel du contrôle interne de l'agent et de sa plus ou moins grande autonomie. Cette architecture est soit *hiérarchique*, nous travaillons alors sur un arbre ayant comme sommet un gestionnaire de messages, comme nœuds intermédiaires des méthodes de contrôle et comme feuilles des méthodes d'exécution ; soit *partition* en plusieurs couches fonctionnelles comme la couche "observation", la couche "décision", etc. . Enfin, elle peut être *égalitaire et concurrente*, chaque méthode possède alors un égal accès aux interfaces, à la mémoire locale, etc. En ce qui concerne le contrôle et l'exécution, ils sont gérés sous la forme de rôles qui peuvent coexister.

Un type d'architecture particulier doit, de plus, être décrit ici, il s'agit des architectures récursives, l'agent étant alors conçu et implémenté sous la forme d'un univers multi-agents (MINSKY, 1988), cette forme de conception est induite par la définition générale d'un agent comme entité informatique exécutable, qui incite à une conception récursive. Dans cette conception récursive, l'agent devra faire coopérer, dans un univers interne, des agents hétérogènes, comme par exemple : un agent donnant le temps, des agents gestionnaires des interfaces et de la mémoire, un ensemble d'agents chargés du contrôle, un ensemble d'agents chargés des exécutions.

¹ L'intention correspond à un choix doublé d'un engagement.

2. De l'individuel au collectif chez les agents cognitifs.

Alors que les méthodes de coordination des agents réactifs passent souvent par la notion d'environnement commun, pour la décision collective chez les agents cognitifs, le débat tourne autour de deux approches pour prendre en compte l'aspect social : définir des croyances mutuelles, des désirs et des intentions communes ou définir des normes et des conventions. Ainsi, pour la réalisation d'agents sociaux, Rao et Georgeff (RAO et GEORGEFF, 1992) définissent des agents qui ont les notions de croyances communes et de buts et intentions communs. Ils utilisent des plans sociaux (au sens de planification) spécifiant comment ils doivent être menés et sous quelles conditions. Le processus de négociation ou de décision collective consiste alors à choisir un but commun, puis sélectionner un plan social satisfaisant le but commun et finalement s'engager en commun à la réalisation de ce plan.

Woolridge et Jennings (WOOLDRIDGE et JENNINGS, 1994), quant à eux, choisissent le double processus de l'engagement et des conventions. Ainsi, pour eux, la réalisation d'un construit social chez les agents, se fait en plusieurs étapes. Dans un premier temps un agent réalise un travail de reconnaissance en identifiant une coopération potentielle. Puis l'agent va chercher à former un groupe ou une équipe en sollicitant de l'assistance. Il y a alors formation d'un plan social, l'équipe négocie alors pour un plan commun. Enfin suit l'exécution, phase au cours de laquelle les agents jouent les rôles définis par le plan social choisi. Les conventions, quant à elles, décrivent les circonstances suivant lesquelles un agent doit reconsidérer son engagement, c'est à dire la manière dont un agent avertira les autres s'il se désengage ou si le statut de son engagement change. Ainsi, Woolridge et Jennings envisagent le processus de coordination comme étant la somme des engagements, des conventions sociales, et du raisonnement local.

Enfin, Sichman (SICHMAN, 1995), et Conte et Castelfranchi (CONTE et CASTELFRANCHI, 1992) introduisent la notion de dépendance sociale entre agents. Un agent A dépend d'un agent B pour réaliser le but p si p est le but de A, que A n'est pas capable de le réaliser et que B est, lui, capable de le réaliser. Nous considérons alors un contexte relationnel, les relations sociales étant préexistantes aux engagements. Il s'agit de simuler des agents socialement situés, qui se trouvent dans un réseau de relations (réseau d'accointances) indépendant de leurs questions (de qui je dépends ? Qui dépend de moi ?) et de leurs choix. Il n'est alors plus nécessaire de raisonner sur un plan global pour réaliser que les agents coopèrent.

C. APPROCHE DE LA DECISION COLLECTIVE PAR LES RESEAUX SOCIAUX

L'analyse des réseaux sociaux est originale, d'un point de vue sociologique dans le sens où elle suit une approche structurale pour l'étude d'une société ou d'une manière plus générale pour l'étude d'un système d'acteurs. L'objet d'étude est donc la structure construite à partir de l'ensemble des relations existantes entre les acteurs (et à partir de l'absence de ces relations), par opposition à la sociologie classique, dans laquelle l'analyse sociale est conduite à partir de l'ensemble des acteurs. Ceci ne signifiant pas que l'approche structurale ne prend pas en compte les notions individualistes telles que celle d'acteur, elle s'appuie au contraire sur ces notions pour déterminer le système relationnel, la différence essentielle réside en fait dans l'objet de l'analyse et non pas dans les objets de la construction qui sont, dans leur majorité, les mêmes pour les deux approches considérées.

1. Les réseaux sociaux

L'analyse des réseaux sociaux repose sur un certain nombre de concepts clés. Il s'agit essentiellement des concepts d'acteurs, de relation, de cercles sociaux, de dyade, de triade et de réseau social.

L'acteur est abordé classiquement (CROZIER et FRIEDBERG, 1977) comme étant une entité sociale, individu ou groupe d'individus ayant des intérêts ou des ressources en commun, constitutive du réseau social (bien que l'on puisse considérer que le réseau social est plutôt construit structurellement à partir des relations qui existent entre les acteurs). Il existe deux approches quant à l'action de l'acteur au sein du réseau : l'approche individualiste dans laquelle l'acteur est identifié à une entité stratégique. L'acteur agit alors uniquement par intérêt, nous pouvons ici le comparer à la notion d'acteur en théorie des jeux pour lequel le comportement est déterminé à travers les notions d'utilité et de gain. Dans l'approche holiste, le réseau social ou structure sociale, s'impose à l'acteur par l'intermédiaire de contraintes ou de **normes sociales**.

La relation ou lien qui unit deux acteurs correspond à l'ensemble des interactions existantes entre les deux acteurs et, au-delà de la simple interaction, elle porte une valeur (amitié, liens de parenté, liens hiérarchiques, contacts professionnels, liens de voisinage,...) ou un ensemble de valeurs. **La valeur** associée à une relation permet autant d'identifier la relation de manière qualitative en déterminant le type de la relation (relation amicale, professionnelle), que de manière quantitative par l'intermédiaire d'un critère de mesure pour la relation (temps accordé ou de manière plus générale poids accordé par un acteur à une relation). La valeur qualitative associée à la relation rejoint la notion de plan relationnel, caractéristique d'un certain type de relation et des structures afférentes.

Les cercles sociaux, que l'on pourra interpréter de manière structurale sous le nom de **pseudo-clique**, correspondent à des sous-réseaux (sous-graphes) dans ces plans (on a un sous-graphe par famille dans le plan famille) constitués d'acteurs partiellement inter-reliés mais dont le comportement est identique vis à vis d'une même norme. Pour définir la pseudo-clique à partir de la clique (composante connexe complète en théorie des graphes), nous affectons généralement une valeur quantitative à la relation, qui représente son importance pour l'acteur (elle reste cependant assimilée à la durée de la relation, une relation de longue durée étant très satisfaisante), nous avons alors des liens faibles et des liens forts entre acteurs (GRANOVETTER, 1973), ce qui permet effectivement d'obtenir des pseudo-cliques dans lesquelles les acteurs sont entièrement liés (même faiblement). Pour définir des pseudo-cliques à partir de cliques nous pouvons également introduire un niveau de cohésion minimal pour l'appartenance à une pseudo-clique, au dessus duquel l'appartenance à celle-ci est vérifiée. L'amalgame sera fait plus loin entre clique et pseudo-clique, ces deux objets désignant ici une même réalité : des groupes relativement homogènes d'acteurs qui réagissent de manière identique à la diffusion de normes.

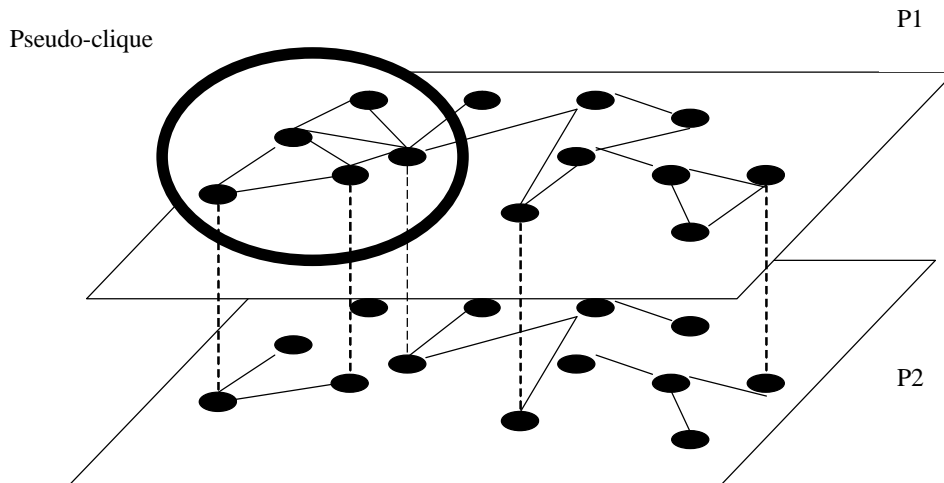


Figure 5 Représentation de réseaux d'acteurs et de cliques selon deux plans relationnels

En ce qui concerne plus particulièrement les normes sociales, pour un cercle social, sur un plan relationnel particulier donné, nous pouvons associer un ensemble de normes particulières. La norme représente la contrainte particulière imposée globalement par l'ensemble de la structure aux actions de l'acteur, ou par l'ensemble d'un groupe donné à l'un de ses membres. Nous pouvons introduire différents niveaux de normes, les cercles sociaux présents dans un même plan ayant des normes communes et certains cercles sociaux (sous-réseaux) d'un plan, se regroupant pour former des structures plus importantes avec une certaine identité normative (par exemple la noblesse française regroupe un ensemble de familles selon une certaine communauté de normes, chacune des familles pouvant y ajouter ses normes spécifiques). L'acteur étant soumis à l'ensemble des normes des cercles sociaux dont il fait partie (famille, travail, ...), il agit en fonction d'elles et non pas nécessairement par elles, c'est à dire que l'acteur adapte son comportement selon qu'il a conscience des normes ou non et selon qu'il a décidé de les suivre, d'en être relativement indépendant, ou de les combattre.

La Dyade est un élément essentiel de l'analyse des réseaux sociaux puisqu'elle est l'entité sociale considérée dès lors que l'on choisit la méthodologie des réseaux sociaux. De manière assez générale, elle recouvre la notion de relation et correspond à l'entité constituée de deux acteurs et de la relation, ainsi que les interactions qui la composent ou de l'absence de relation, entre eux. Elle correspond à l'entité qui permet d'effacer la notion d'acteur au profit d'une définition plus "structurale" du réseau social.

La **Triade** est l'ensemble constitué par trois acteurs et les relations qui existent entre eux. La triade est souvent considérée comme maille élémentaire du réseau car c'est la première structure dans laquelle apparaissent des comportements sociaux stratégiques, c'est en effet dans la structure triadique que l'on observe les premiers phénomènes d'alliance de deux acteurs contre un seul, de médiation d'un acteur entre les deux autres, ou de négociation (*tertius gaudens*, la structure présentant à un acteur une possibilité de choix entre deux acteurs ou médiateur).

Le concept de **réseau social**, quant à lui, recouvre deux approches. La première, le réseau personnel dans lequel un acteur est considéré comme référentiel dans le réseau et à partir duquel nous considérons les acteurs auxquels il est lié et les relations qui peuvent exister entre ces acteurs. Enfin, l'approche réseau global, pour laquelle nous fixons des limites à l'étude, géographiques (une ville) ou professionnelles (une entreprise) dans laquelle l'acteur peut aussi bien représenter un individu qu'un groupe d'individu, et dont le but devient par extension, l'étude

du réseau dans sa globalité. Les études sur les réseaux globaux prennent bien évidemment appui sur une approche réseau personnel puisque l'acteur reste par le fait même qu'il est le sujet des questionnaires, la source d'information sur le réseau social. Il est particulièrement difficile d'étendre les réseaux personnels obtenus par questionnaires pour obtenir le réseau global, une technique d'interrogation par boule de neige (SNIJDERS, 1992), dans laquelle nous interrogeons un acteur puis, au niveau suivant, les relations citées par celui-ci, etc.... et ceci sur plusieurs niveaux, peut permettre de réaliser une ébauche du réseau global.

2. Modèles de décision collective dans les réseaux sociaux

Les modèles de décisions existant en théorie des réseaux sociaux, reposent sur deux composantes particulières.

Soit les modèles utilisent une théorie de la décision individuelle à laquelle ils ajoutent une composante « réseau » en introduisant des coefficients d'influence interpersonnelles ou d'influence sur un phénomène social émergent (une décision collective, par exemple), comme c'est le cas dans les modèles de Bueno de Mesquita et de Stokman et Van Oosten et ils peuvent ainsi être considérés comme des modèles de la décision collective orientés réseaux sociaux (LAZEGA, 1999). Malgré cela, nous considérons ici ces modèles comme faisant partie de la théorie des jeux car malgré l'introduction de critères d'influence interpersonnels, ils ne prennent pas en compte les structures relationnelles particulières et ils reposent sur les notions de jeux coopératifs, non-coopératifs, d'utilité qui font d'eux des jeux à part entière.

Soit les modèles introduisent des unités de décision, c'est à dire des composantes structurelles qui du point de vue du phénomène de la décision collective peuvent être considérées comme une seule et même composante. Ces composantes de la décision héritent, d'une certaine façon, de la sociologie classique dans laquelle on isolait et on classifiait des composantes sociales types tel que le foyer domestique, les clans ou les classes et qui étaient le siège de propriétés sociologiques ou sociométriques particulières. Sur ce second point de vue, les composantes structurelles qui interviennent dans le processus de décision collective sont des entités du type cercles sociaux ou pseudo-cliques comme nous le verrons dans le premier modèle présenté et aussi dans le dernier, les cliques étant déterminées nous le verrons par des techniques de partitionnement (DOREIAN, 1999) ou de classification croisée (VAN METER, 1999) selon des variables exogènes. On assiste de plus, à la traduction structurale du « feu » domestique, unité domestique liée à une exploitation (MENDRAS et FORSE, 1997), par l'introduction des unités de prise de décision (FERREIRA, 1997) à l'échelle de l'exploitation. Nous reverrons ces notions plus précisément lors de la présentation des différents modèles.

B. LES SYSTEMES MULTI-AGENTS ET LA SIMULATION SOCIALE

Une simulation permet de construire une abstraction de la réalité (un modèle) et de faire évoluer cette abstraction en fonction du temps. L'objectif d'un modèle de simulation est de reproduire les activités des différentes entités du système simulé et donc d'apprendre quelque chose sur les comportements ou les performances de ce système.

A. LA SIMULATION SOCIALE

Un des enjeux principal de la simulation sociale à l'heure actuelle est de clarifier le lien entre les phénomènes sociaux envisagés au niveau de la société dans son ensemble et les phénomènes locaux, envisagés au niveau de l'individu, et tout particulièrement d'étudier l'émergence de macro-propriétés à partir de micro-interactions ou interactions au niveau inférieur.

Un autre enjeu principal inhérent à l'aspect dynamique de la simulation concerne l'étude de l'importance des processus et de la variable temps dans les phénomènes sociaux. Ceux-ci ont jusqu'alors été sous-estimés dans les sciences sociales (GILBERT, 1997) et l'utilisation de la simulation permet de travailler sur ces aspects. Ainsi, même si on assiste depuis quelques années à la collecte de données sociologiques longitudinales (dans le temps), leur analyse considère davantage les sociétés et groupes sociaux comme des agrégats d'individus. Le principal problème de la simulation et donc, en particulier de la simulation sociale demeurant la difficulté à valider les différents modèles.

Les premiers développements de simulation sociale par ordinateur coïncident avec les premières utilisations d'ordinateurs dans les recherches universitaires au début des années soixante (Figure 6). Ils consistaient principalement en des simulations à événements discrets ou des simulations de systèmes dynamiques. Ainsi, les premières approches modélisaient le passage d'unités aux travers de files et de stations pour prédire des variables particulières comme, par exemple, le temps d'attente des clients dans une file ou le temps de réponse d'une station. L'approche par les systèmes dynamiques utilisait, quant à elle, de gros systèmes d'équations différentielles pour déterminer les trajectoires des variables en fonction du temps.

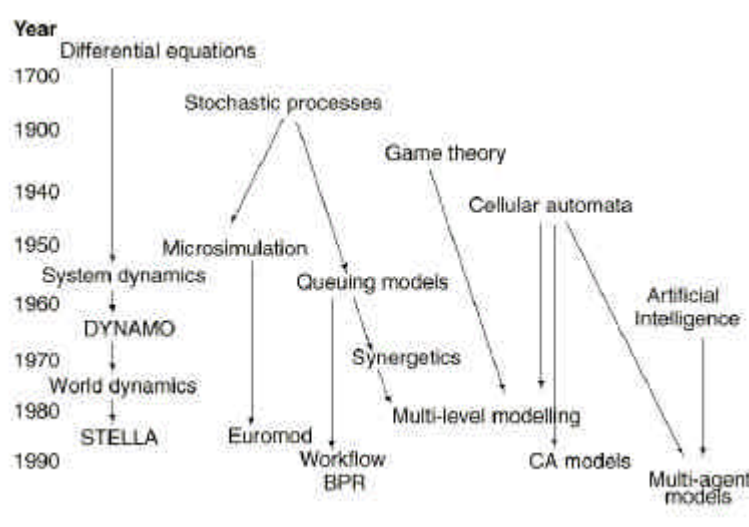


Figure 6 Historique simulation sociale (GILBERT and TROITZSCH, 1999)

Les simulations du Club de Rome, qui prédisent une catastrophe environnementale au niveau mondial ont créé un impact médiatique majeur sur la simulation, mais lui ont aussi donné une très mauvaise réputation, en ce sens que les résultats de leurs simulations dépendaient très fortement des assertions quantitatives faites sur les paramètres d'entrée du modèle.

Ces travaux, assez récents ont cependant aussi servi la simulation sociale, puisqu'ils ont mis en évidence une qualité importante de la simulation, la possibilité de prédire des phénomènes, alors que les chercheurs en sciences sociales avaient jusqu'alors tendance à être davantage concentrés sur la compréhension et l'explication. Le scepticisme qui fit face à ce nouvel outil, était principalement dû d'une part à un doute important sur la possibilité même de réaliser des prédictions sociales et d'autre part au champ particulier de la prédiction économique ou sociale dans lequel, pensait-on, la prédication elle-même pourrait influencer sur le résultat, ce qui réalisait un pendant sociologique au principe d'incertitude d'Heisenberg en Physique.

La première des méthodes de simulation à avoir été acceptée et sans doute une des plus répandue en sociologie est la *micro-simulation* (HARDING, 1990). Cette technique a été développée dans le cadre de l'étude des conséquences des changements de politique sociale sur les populations concernées. Le principe de la micro-simulation est le suivant : on travaille sur un large échantillon, représentatif d'une population d'individus, de foyers ou d'entreprises. A chaque unité on associe un âge, puis, en utilisant un ensemble de probabilités de transition, on détermine la probabilité que l'unité subisse certains changements durant l'année (par exemple, la probabilité qu'une femme faisant partie d'une certaine classe d'âge donne naissance à un enfant). Après quoi, chaque unité étant «vieillie » d'un an, le processus est itéré sur toute la durée de la simulation. Les statistiques agrégées sur l'ensemble des résultats peuvent être utilisées comme des prédictions sur les caractéristiques futures de la population. Cependant, la micro-simulation n'a aucune prétention à expliquer les phénomènes, c'est simplement un moyen de prédire des distributions statistiques futures. Deuxièmement, la micro-simulation traite chaque unité (individu, foyer ou entreprise) individuellement, il n'y a pas possibilité de modéliser les interactions entre les unités. Troisièmement, les motivations ou les intentions des unités ne sont pas prises en compte : chaque unité évolue d'année en année uniquement en fonction d'un générateur de nombres aléatoires.

Au début des années 1990, la situation assez peu favorable à l'utilisation de la simulation dans les sciences sociales change radicalement, et ceci principalement en conséquence du développement des systèmes multi-agent qui offraient la possibilité de simuler des individus autonomes et leurs interactions, cette évolution provenant des techniques importées de l'étude des dynamiques non linéaires et des recherches en intelligence artificielle. Les physiciens et les mathématiciens, de leur côté, ont essayé de comprendre les propriétés des agrégats et ont créé des modèles pour y parvenir, les automates cellulaires. Ces modèles ont été appliqués pour expliquer les propriétés des matériaux magnétiques, de la croissance des cristaux, de l'érosion du sol et dans beaucoup d'autres domaines scientifiques. Les automates cellulaires consistent en de larges grilles de cellules arrangées régulièrement. Chaque cellule possède un état et les changements d'états se produisent en fonction de règles qui dépendent uniquement de l'état courant de la cellule et de celui des cellules voisines. Les automates cellulaires ont formé un cadre utile à la réalisation de modèles d'interaction sociale, par exemple l'étude des phénomènes de ségrégation (SCHELLING, 1960).

L'intelligence artificielle, domaine de l'informatique concerné entre autres par le développement de simulations de l'intelligence humaine avait seulement été, jusqu'à récemment, utilisée dans modélisation de la cognition individuelle. Mais, dans les années 1980, un intérêt croissant pour l'intelligence artificielle distribuée et la technologie «agent » a conduit au développement de modèles qui, parce qu'ils prenaient en compte des agents autonomes en interactions, pouvaient être appliqués à la simulation de sociétés humaines. De plus, les chercheurs en intelligence artificielle ont prêté une grande attention durant les dix dernières années aux techniques d'apprentissage, lançant ainsi la recherche sur la piste de modèles capables d'apprendre, utiles à la fois pour simuler les processus cognitifs des individus et pour modéliser des sociétés entières qui s'adaptent au fil du temps à de nouvelles circonstances.

B.SYSTEMES MULTI-AGENTS ET SIMULATION SOCIALE

1. Bottom-Up et Top-down.

Conte et Castelfranchi (CONTE et CASTELFRANCHI, 1992), déterminent deux approches particulières de la modélisation des interactions sociales :

- Les modèles top-down, dans lesquels les agents ont un problème global à résoudre, le problème étant posé à priori. On considère alors des phénomènes de type coopératifs entre eux. Les interactions sociales sont considérées comme les contraintes d'une structure organisationnelle préétablie, qui guide les agents vers la réalisation du but global. Ces modèles sont souvent utilisés dans les systèmes multi-agents appliqués à la résolution de problèmes (DROGOUL, 1993).
- Les modèles bottom-up dans lesquels les agents n'ont pas de but commun à priori. Les interactions sociales sont produites en résultat à leurs efforts pour accomplir leurs propres buts. Aucune coopération ni structure organisationnelle d'aucune sorte n'est préétablie au départ. Ces modèles sont utilisés le plus souvent dans les systèmes multi-agents qui adoptent une perspective de simulation sociale (EPSTEIN and AXTELL, 1996). La structure organisationnelle qui est construite dynamiquement par les agents dans les modèles bottom-up est appelée **coalition**.

Dans Conte et Sichman (CONTE and SICHTMAN, 1995), les modèles sont classés suivant deux approches différentes :

- les modèles orientés utilité, dans lesquels, comme c'est le cas en théorie des jeux (AXELROD, 1992), le monde social est introduit comme étant essentiellement consistant avec le principe de bellum omnium contra omnes² et étant considéré comme un domaine d'interaction sociale entre agents, dans lequel ces derniers doivent se coordonner de manière à avoir un comportement global cohérent. La notion de cohérence est souvent construite à partir des notions de conventions et de contraintes. Dans ces modèles, l'existence d'autres agents limite l'autonomie, le pouvoir et les buts des agents individuels.
- les modèles basés sur la complémentarité proposent une perspective différente de l'interaction sociale en prenant en compte le fait que les agents puissent avoir des compétences complémentaires, compétences qui peuvent être requises pour l'accomplissement des buts propres de l'agent. De cette manière, l'existence des autres agents accroît l'autonomie et le pouvoir des agents individuels. Ainsi, même si un agent ne peut pas accomplir certains buts par lui-même, il pourra les réaliser en demandant de l'aide aux autres agents.

Cette dernière approche a été adoptée dans (SICHTMAN, 1998). Dans cet article, un mécanisme de raisonnement social est envisagé comme un élément essentiel pour la construction d'agents vraiment autonomes. Un mécanisme social utilise l'information qu'il peut obtenir au sujet des autres agents pour inférer certaines propriétés. Par conséquent, l'existence de certains mécanismes à l'intérieur d'un agent signifie que (i) un agent doit explicitement se représenter certaines propriétés des autres agents, propriétés qui peuvent changer dynamiquement ; (ii) un agent doit exploiter cette représentation, et ainsi optimiser son comportement relativement à l'évolution de la société et (iii) un agent doit réviser sa représentation quand il détecte que ses croyances à propos des autres agents sont soit incorrectes soit incomplètes.

Ce mécanisme de raisonnement social est basé sur la notion de dépendance sociale (CASTEFRANCHI et CONTE, 1992) (SICHTMAN, 1995). En résumé, un agent est dit dépendant d'un autre, si ce dernier peut lui permettre ou l'empêcher d'accomplir un de ses buts.

² Tout le monde en guerre contre tout le monde !

La notion de dépendance est duale de celle de pouvoir social : si un agent est dépendant d'un autre, ce dernier gagne du pouvoir sur lui. Les relations de dépendance peuvent être unilatérales ou bilatérales. Correspondant aux relations bilatérales, la dépendance mutuelle est réalisée quand deux agents dépendent l'un de l'autre pour l'accomplissement d'un même but, alors que la dépendance réciproque correspond au cas dans lequel deux agents dépendent l'un de l'autre mais pour des buts différents. Dans (CASTELFRANCHI et al., 1992), la dépendance mutuelle conduit à la coopération et la dépendance réciproque conduit aux échanges sociaux.

2. Automates Cellulaires et simulation sociale

On ne peut parler des simulations sociales implémentées sous la forme de systèmes multi-agents, sans parler des travaux réalisés en matière de simulation sociale sur les automates cellulaires. D'une part, parce que les automates cellulaires ont été développés avant les systèmes multi-agents et qu'ils en sont à l'origine et d'autre part, parce qu'ils en sont une forme particulière (système multi-agent à voisinage fixe). De plus, ces automates servent encore dans certaines simulations multi-agents (comme dans CORMAS) de support spatial aux agents. Ainsi nous présenterons ici, d'une part les travaux réalisés sur des automates cellulaires, puis les simulations sociales réalisées à l'aide de systèmes multi-agents.

Les automates cellulaires ont été introduits dans les sciences naturelles par John von Neumann à la fin des années 40 (NEUMANN, 1966) principalement pour fournir une abstraction réductionniste de la vie et des systèmes auto-reproducteurs. Le premier automate cellulaire utilisé à des fins de simulation sociale fut implémenté dans la même période par James M. Sakoda. Ce modèle ne fut tout d'abord pas lié à la communauté des automates cellulaires et n'y portait aucune référence, il a été baptisé "checkerboard model". Sakoda avait construit son modèle pour étudier la formation des groupes dans une population. Ainsi, dans ce modèle, les membres de deux groupes vivent sur une grille, ils ont des attitudes positives, neutres ou négatives à l'égard des autres. De plus, toutes les cellules ne sont pas occupées. Les individus peuvent bouger sur des cellules voisines (voisinage 8-connexe). Un individu i utilise une option de migration pour bouger vers des cellules où la somme des rapports entre attitudes et distance euclidienne est maximale. Le «monde » développé ainsi par Sakoda, comprend deux groupes, chacun composé de six membres. Les membres d'un groupe sont représentés sur la grille du «monde » par des carrés et les membres de l'autre groupe par des croix. Sakoda a analysé alors différentes combinaisons d'attitudes. L'une d'entre elles est appelée ségrégation, et l'autre suspicion (figure).

<i>Segregation</i>	to squares	to crosses	<i>Suspicion</i>	to squares	to crosses
squares	1	-1	squares	0	-1
crosses	-1	1	crosses	-1	0

Figure 7 Les combinaisons d'attitudes ségrégation et suspicion

La Figure 8 montre la dynamique de formation de groupes suivant la combinaison d'attitudes de ségrégation. Les membres des deux groupes se regroupent en fait très rapidement.

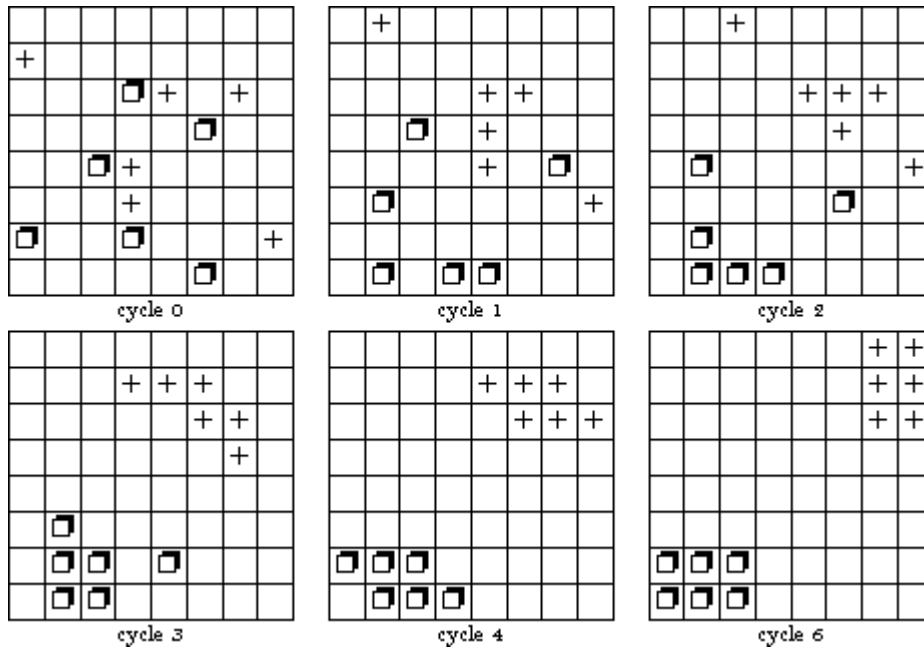


Figure 8 La dynamique du modèle de ségrégation (Sakoda 1971, p. 127).

Pas de surprise, à priori à ce que l'attitude ségrégationniste conduise à l'éloignement des deux groupes chacun dans un angle de la grille. Cependant la dynamique de suspicion, elle, réserve une surprise (figure).

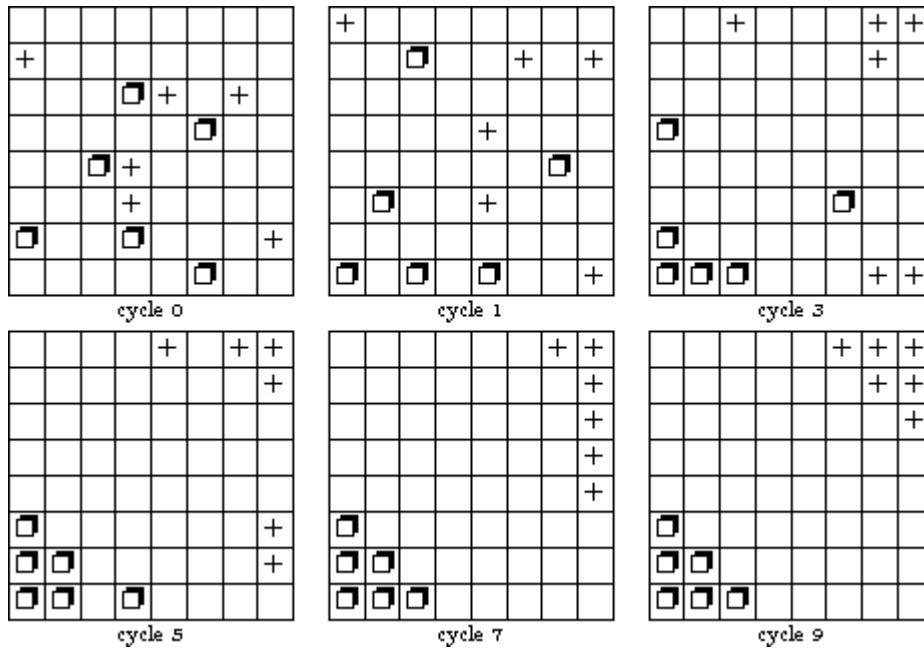


Figure 9 La dynamique de suspicion (Sakoda 1971, p. 126).

De manière évidente, les individus qui ont des attitudes neutres envers les autres, peuvent malgré tout former un groupe séparé, et ceci par le fait que les membres de l'autre groupe ont des attitudes négatives. Malgré cela, il y a quelque chose de surprenant qui n'a pas été observé par Sakoda : une attitude négative envers l'autre groupe combinée avec de l'indifférence à l'égard de

son propre groupe (attitude de suspicion), conduit à des composantes plus massives que l'attitude ségrégationniste. Pour observer cet effet, les échantillons de population doivent être plus importants, on prend par exemple, (figure) une grille de 40X40 avec des groupes de 180 membres chacun, un groupe étant bleu et l'autre rouge.

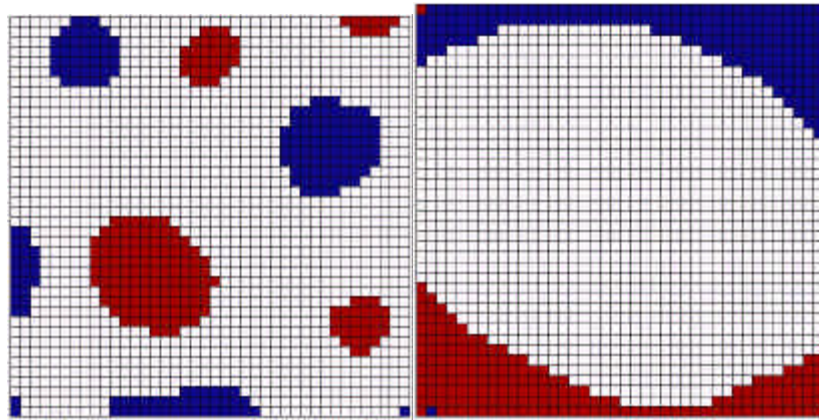


Figure 10 A gauche ségrégation, à droite, suspicion

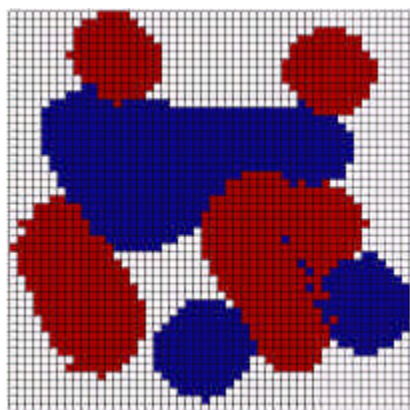
Une fois que cet effet est observé, il n'est pas difficile d'expliquer pourquoi les attitudes neutres envers les membres de son propre groupe, conduisent à une polarisation plus prononcée et à une segmentation du jeu. Les deux formes d'attitudes, la ségrégation et la suspicion, ont poussé les «agents» à s'éloigner des membres du groupe opposé. Si, en adoptant une forme d'attitude ségrégationniste, des membres d'un même groupe se rencontrent en s'éloignant de l'autre groupe, le point de rencontre devient un point d'attraction pour les deux acteurs en question mais aussi pour les acteurs qui pourraient passer dans le voisinage et ainsi, ce point peut devenir suffisamment attractif pour pousser ceux qui se sont rencontrés à rester où ils sont et en attirer d'autres. Par contre, ce n'est pas le cas si les membres d'un groupe sont indifférents aux partenaires de leur propre groupe, aller le plus loin possible de l'autre groupe devient dès lors le seul objectif. Comme conséquence non intentionnelle, les individus finissent par vivre dans un groupe massif de leur propre couleur, à l'exception d'un individu bleu et d'un rouge qui ne se sont pas échappés assez vite et ont été «emmurés».

Ces résultats soulignent que la modélisation par automates cellulaires peut contribuer à observer des principes comportementaux simples et spécialement contribuer à une meilleure compréhension des relations micro/macro dans les processus de dynamiques sociales.

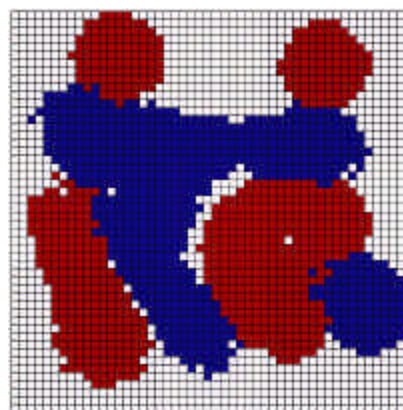
Un autre exemple plus récent et plus célèbre est celui fourni par Thomas Schelling (SCHELLING, 1960) sur l'analyse des processus de ségrégation. Les individus sont supposés appartenir à deux classes différentes, les blancs et les noirs ou, en prenant des termes plus abstraits des étoiles et des ronds. Chaque individu est inséré sur la grille et reçoit des options de migration. Les individus utilisent celles-ci pour quitter leur voisinage actuel si celui-ci n'a pas la fréquence minimum requise d'individus de leur propre classe. En effet, les individus souhaitent vivre dans un voisinage dans lequel leur communauté dépasse un certain seuil. Si cette condition n'est pas remplie, un individu va migrer vers la cellule représentant l'alternative la plus satisfaisante.

Un de ses résultats est qu'un taux de ségrégation élevé résulte du fait que les individus ne veulent pas être en minorité dans leur voisinage proche. Même en considérant des acteurs dont le voisinage requiert seulement 30% de membres du même groupe, on obtient toujours une ségrégation importante (figure). Les quatre simulations sont initialisées avec la même distribution

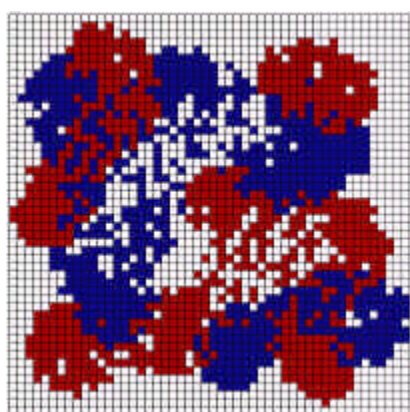
aléatoire de cellules bleues et de cellules rouges. Le voisinage pris en compte est un voisinage 11×11 et les cellules voisines qui sont vides sont considérées comme faisant partie du groupe opposé à celui de l'individu. Les individus insatisfaits se déplacent vers des cellules qui sont aussi proches que possible de leur voisinage désiré et ils sont indifférents concernant le choix entre deux cellules vérifiant un type de voisinage identique.



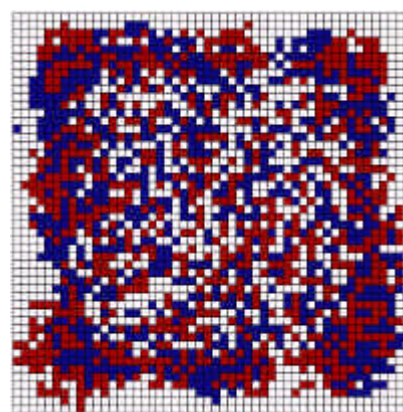
Préférence: $\leq 90\%$



Préférence: $\leq 50\%$



Préférence: $\leq 30\%$



Préférence: $\leq 20\%$

Figure 11 Expériences avec différentes préférences de voisinage.

A l'évidence, un haut degré de ségrégation apparaît dès lors que les individus ne veulent pas être en position de minorité et requièrent jusqu'à 90% de leur propre groupe dans leur voisinage. Seul une préférence de voisinage en dessous de 30% prévient la ségrégation. Comme dans le modèle de Sakoda le résultat important est que des règles appliquées au niveau local (niveau individuel) peuvent produire des effets au niveau global qui soient «inattendus» et non intentionnels du point de vue de l'acteur.

Ni Sakoda, ni Schelling n'ont fait référence aux automates cellulaires à cette époque, tout simplement parce qu'ils étaient trop peu connus et développés uniquement dans les sciences naturelles. Néanmoins, leurs modèles partagent les concepts fondateurs des automates cellulaires comme la discrétisation de l'espace et du temps et l'importance du voisinage et des processus locaux. Les modèles de Schelling et Sakoda se concentraient sur la migration (les acteurs bougent et recherchent des partenaires ou des voisinages attractifs), cependant, si ce point de vue ne semble pas correspondre à la philosophie des automates cellulaires (les cellules sont fixes et seules leurs

états changent), il n'en est rien puisque l'on peut considérer que bouger pour un individu correspond juste à l'application d'une loi par laquelle une cellule occupée et une cellule vide échangent leurs états entre elles.

La première personne à avoir explicitement classifié les modèles de Schelling et de Sakoda dans les automates cellulaires a été l'économiste Peter S. Albin dans son livre *The Analysis of Complex Socioeconomic Systems* (ALBIN, 1975). Il a aussi été le seul à désigner l'énorme potentiel des automates cellulaires et des automates à états finis pour la compréhension des dynamiques sociales. Néanmoins, c'est seulement au cours de la dernière décennie que les modèles reposant sur des automates cellulaires ont été utilisés plus fréquemment dans les sciences comportementales et sociales. Un nombre substantiel des sociétés artificielles décrites dans (EPSTEIN and AXTELL, 1996) reposent ainsi sur des modèles d'automates cellulaires.

3. Simulations sociale et systèmes multi-agents

Nous retrouvons dans la simulation multi-agents la dichotomie classique qui existe dans les systèmes multi-agents (DROGOUL, 1993). On peut ainsi distinguer les simulations à base d'agents réactifs et les simulations à base d'agents cognitifs qui apportent dans la simulation la vision anthropomorphe de l'Intelligence Artificielle. Ces dernières ont un champ d'application qui réside essentiellement dans les simulations réalisées en psychologie cognitive et sociale (CASTELFRANCHI et CONTE, 1992) ou en sociologie appliquée à l'anthropologie (DORAN et al., 1990), (DORAN, PALMER et GILBERT, 1992). Les autres travaux existants consistent essentiellement en simulations prédictives conçues comme des aides à la décision (KUHN, MULLER et MULLER, 1993). Le domaine qui apparaît cependant comme le plus fécond à l'heure actuelle est celui des agents réactifs, qui prend le contre-pied de cette approche en tentant de modéliser et de simuler des comportements collectifs de haut niveau grâce à des interactions d'agents les plus simples possibles. Le nombre de travaux publiés commence à être relativement important, et particulièrement en sociologie, (simulation des mécanismes d'influence sociale chez (NOWAK et LATANE, 1992), (LONBORG, 1992)).

Nous allons présenter un certain nombre de modèles, qui, s'ils sont assez peu proches au premier abord de notre problématique, introduisent chacun une notion supplémentaire nécessaire à l'introduction des modèles de décision collective présentés plus loin.

Nous pouvons par exemple citer dans le cadre des modèles de gestion des ressources, le modèle d'émergence de hiérarchies (DORAN, 1997). Ainsi, on prend l'exemple de ressources renouvelables qui nécessitent la participation de plusieurs acteurs, par exemple la chasse à l'éléphant réalisée par plusieurs chasseurs du Neandertal. Les hypothèses qui permettent la formation d'une hiérarchie sont les suivantes :

- l'agent qui lance l'appel (en l'occurrence le message «on va chasser l'éléphant») devient leader,
- des groupes peuvent devenir membres de groupes (ce qui permet d'imbriquer suivant des niveaux de groupes des ensembles d'individus),
- les variables posées sur les groupes sont les suivantes : il y a des règles de recrutement, de fidélité au groupe et des conditions d'acceptation du suivi. Les groupes apparaissent et durent.

Ainsi on remarque que les structures sociales très rigides (fidélité au groupe très prononcée) diminuent la productivité. L'évolution du modèle tend vers la modélisation d'alliances. En effet, après un certain nombre de phases de collaboration un agent prend les besoins des autres agents en considération. Ainsi, on peut opposer alliances et hiérarchies comme deux méthodes dédiées à l'exploitation des ressources. Les problèmes principaux qui se posent alors, d'un point de vue collectif, sont les problèmes de la perception du groupe et du rôle du groupe (lors des emboîtements) et ceux de la perception des agents et de l'observateur. Dans ce modèle on introduit en fait la notion de structuration de la société pour atteindre un but en suivant une approche Bottom-up, c'est à dire en définissant uniquement des règles individuelles.

Le résultat de ce type de simulation peut être fascinant à regarder, mais cela requiert beaucoup d'imagination théorique pour passer des formes des cellules sur une grille à des conclusions à propos de la société. En particulier parce que les individus sont modélisés sous la forme d'entités très simples, avec assez peu de règles comportementales.

Ainsi, en suivant une approche orientée individu dans laquelle on modélise un individu par un agent, SICHMAN (SICHMAN, 1995) adopte les principes suivants :

- *Principe de non-bénévolat* : les agents ne sont pas présumés s'aider les uns les autres, ils décident de manière autonome de coopérer ou non avec les autres agents.
- *Principe de sincérité* : les agents n'essayent pas d'exploiter les autres agents, ils n'offrent jamais d'information erronée délibérément et ils communiquent toujours l'information en laquelle ils croient.
- *Principe de connaissance de soi* : les agents ont une représentation complète et correcte d'eux-mêmes : leurs buts, leur expertise etc. Malgré cela, les agents peuvent avoir des croyances à propos des autres qui sont incorrectes ou incomplètes.
- *Principe de consistance* : les agents ne maintiennent pas de croyances contradictoires à propos des autres. Dès qu'une inconsistance est détectée, ils révisent leurs croyances dans l'ordre pour rétablir un état consistant.

A partir de règles simples comme celles-ci, SICHMAN parvient à faire émerger des phénomènes de dépendance sociale au niveau agrégé. Mais le travail le plus important, à l'heure actuelle en matière de simulation sociale et de systèmes multi-agents est celui mené par Epstein et Axtell (EPSTEIN et AXTELL, 1986) avec leur modèle Sugarscape. Eux-mêmes développent en introduction une problématique exemplaire: "Herbert Simon is fond of arguing that the social sciences are, in fact, the hard sciences. For one, many crucially important social processes are complex. They are not neatly decomposable into separate subprocesses--economic, demographic, cultural, spatial--whose isolated analyses can be aggregated to give an adequate analysis of the social process as a whole. And yet, this is exactly how social science is organized, into more or less insular departments and journals of economics, demography, political science, and so forth. Of course, most social scientists would readily agree that these divisions are artificial. But, they would argue, there is no natural methodology for studying these processes together, as they coevolve. The social sciences are also hard because certain kinds of controlled experimentation are hard. In particular, it is difficult to test hypotheses concerning the relationship of individual behaviors to macroscopic regularities, hypotheses of the form: If individuals behave in thus and such a way--that is, follow certain specific rules--then society as a whole will exhibit some particular property. How does the heterogeneous micro-world of individual behaviors generate the global macroscopic regularities of the society? Another fundamental concern of most social

scientists is that the rational actor--a perfectly informed individual with infinite computing capacity who maximizes a fixed (nonevolving) exogenous utility function--bears little relation to a human being. Yet, there has been no natural methodology for relaxing these assumptions about the individual. Relatedly, it is standard practice in the social sciences to suppress real-world agent heterogeneity in model-building. This is done either explicitly, as in representative agent models in macroeconomics (KIRMAN, 1992), or implicitly, as when highly aggregate models are used to represent social processes. While such models can offer powerful insights, they "filter out" all consequences of heterogeneity. Few social scientists would deny that these consequences can be crucially important, but there has been no natural methodology for systematically studying highly heterogeneous populations. Finally, it is fair to say that, by and large, social science, especially game theory and general equilibrium theory, has been preoccupied with static equilibria, and has essentially ignored time dynamics. Again, while granting the point, many social scientists would claim that there has been no natural methodology for studying nonequilibrium dynamics in social systems. » La réponse au problème posé est bien sûr la méthodologie multi-agent. Epstein et Axtell développent ensuite en suivant une approche bottom-up progressive, des phénomènes sociaux émergents (commerce, histoire, ...) en définissant des propriétés comportementales locales (des règles comportementales, règles d'échange, reproduction sexuelle, processus culturels) de plus en plus complexes.

Dans ce travail, nous espérons pouvoir faire émerger des différents modèles que nous allons exposer, une décision collective au niveau supérieur à partir de règles et de définitions locales des processus comportementaux. Cependant autant que savoir quels processus locaux permettent l'émergence de la décision collective, nous nous intéressons à la forme qu'elle peut prendre (consensus mou, négociation, résolution de conflits) et à ses caractéristiques (vitesse de convergence, stabilité de la décision collective, etc.). Dans la suite nous allons ainsi exposer trois modèles de décision collective qui utilisent la méthodologie multi-agents.

2. MODELE STRUCTUREL DE LA DECISION COLLECTIVE SOUS MADKIT

Dans ce travail, il s'agit d'évaluer la réponse décisionnelle de réseaux d'agriculteurs face à des demandes de changement. Comment, dans ce contexte, modéliser la dynamique décisionnelle dans un réseau social et la dynamique du réseau lui-même ? L'étude de la dynamique décisionnelle en matière de technique ou de pratique professionnelle dans un réseau social est sensiblement liée aux travaux sur la diffusion d'innovations dans ces mêmes réseaux. L'innovation étant vue, suivant une approche sociologique comme l'introduction d'une norme nouvelle dans un contexte de normes préexistant.

L'approche correspondante à la diffusion d'innovation dans un réseau social (CHATTOE, GILBERT, 1998) repose sur plusieurs assertions. D'une part, l'acteur ne décide pas seul, il subit l'influence de ses voisins et de son réseau relationnel sous la forme de normes et de contraintes sociales et suit le paradigme de la décision individuelle d'adoption (MENDRAS, FORSE, 1991), à savoir que toute décision comprend trois stades : savoir, persuasion, décision ; les mass média sont importants pour le premier stade, les groupes relationnels élémentaires pour les autres, nous nous intéressons ici principalement aux deux derniers stades. D'autre part, la diffusion d'innovation à l'échelle du réseau correspond à l'émergence de comportements et de stratégies individuels, on a ainsi interdépendance entre les acteurs constitutifs du réseau social et le réseau social lui-même en terme de décision de groupe (figure).

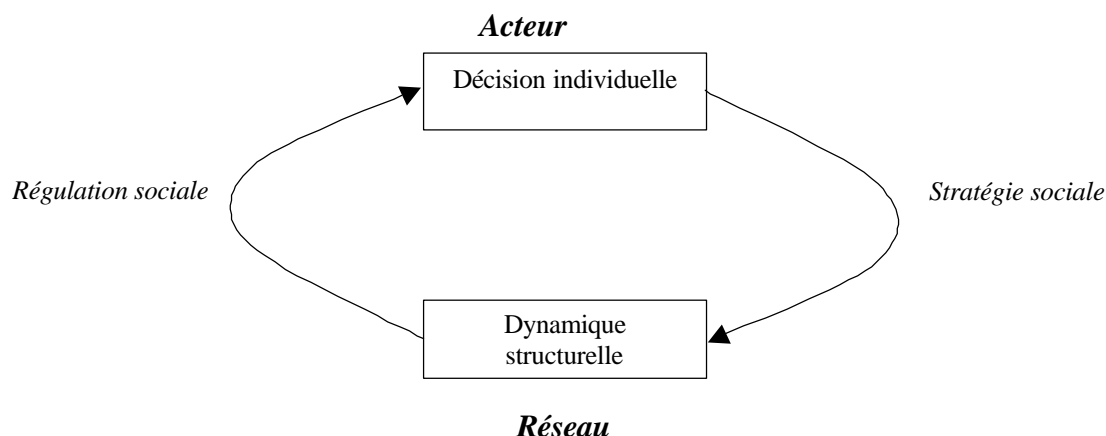


Figure 12 Interaction acteur/réseau social concernant l'aspect décisionnel du groupe

En matière de diffusion d'innovations (DEGENNE, FORSE, 1997) (MENDRAS, FORSE, 1991), la progression de l'adoption de l'innovation suit le théorème épidémiologique. L'innovation se diffuse dans la population comme peut le faire une épidémie : sa pénétration affecte la forme d'une courbe logistique en S, courbe qui permet de distinguer les pionniers, les innovateurs, la majorité précoce, la majorité tardive et les retardataires.

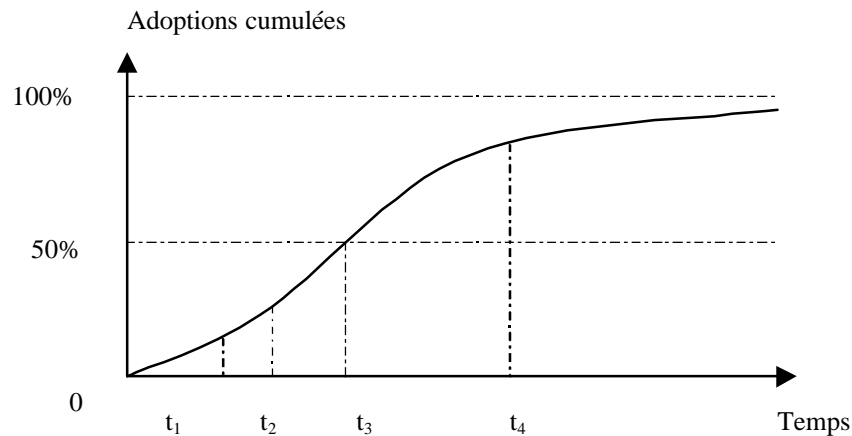


Figure 13 Diffusion d'une innovation dans un réseau suivant une courbe logistique en S

L'objectif de ce travail est donc la modélisation, suivant une approche multi-agents de la dynamique décisionnelle de l'acteur et du groupe dans un réseau social par la simulation. Ainsi dans ce modèle, nous simulerons et observerons les phénomènes structurels, à partir de définitions locales des interactions entre acteurs ou de l'évolution de relations élémentaires. Cela revient à observer la mise en place de structures de réseaux sociaux particulières en réponse à un stimulus. Par exemple, en réponse à un stimulus du type «recherche d'emploi » de la part d'un des acteurs, il se forme dans le réseau de l'acteur, une structure particulière autour de l'acteur «demandeur » correspondant à son état, et on a l'établissement autour de lui d'un réseau de compétence dédié à la recherche d'emploi (GRANOVETTER, 1974).

Nous présenterons dans un premier temps la plate-forme Madkit sous laquelle a été implémenté le modèle, puis une problématique soulevée par la construction du modèle ou d'un modèle dans le contexte de la théorie des réseaux sociaux et enfin le modèle lui-même.

A.MADKIT

Les plates-formes multi-agents existantes sont aussi diverses que l'ensemble des domaines auxquels elles sont destinées. Les fonctionnalités dont elles disposent toutes, en tant que plates-formes multi-agents, sont la gestion de l'exécution simultanée de plusieurs agents et la mise à disposition de moyens de communication entre agents. De plus, sont fréquemment présents, les aspects de gestion de la distribution (exécution sur plusieurs machines), et de mobilités des agents (échanges d'agents entre deux machines).

Madkit© (FERBER et GUTKNECHT, 1997b) est une plate-forme implémentée selon et en parallèle avec le modèle Aalaadin (FERBER et GUTKNECHT, 1997a) et reprend ainsi les trois concepts fondamentaux de ce modèle, à savoir les concepts d'Agent, de Groupe, et de Rôle.

Un Agent Madkit© est un membre de plusieurs groupes. L'agent remplit des rôles, il peut appartenir à plusieurs groupes et peut remplir plusieurs rôles. Un Groupe est un ensemble d'agents qui parlent le même langage³, un agent ne peut ainsi communiquer qu'avec des agents appartenant au même groupe que lui. Enfin le concept de Rôle Madkit© est la fonction que remplit un agent au sein d'un groupe, un rôle réclame des compétences et fournit des capacités (dans le sens potentialité d'action).

³ Des approches réactives non symbolistes sont cependant possibles

Madkit© ajoute à ceci trois principes architecturaux, à savoir le Micro-Noyau agent, l'agentification des services et une interface componentielle. Le micro-noyau agent permet d'implémenter un ensemble minimal de facilités permettant le déploiement d'autres systèmes et services agents. Le micro-noyau agent maintient les tables de groupes et de rôles, gère le cycle de vie des agents, et assure le passage des messages locaux entre agents, tous les autres services étant assurés par des agents. Un service est ainsi agentifié, il est accessible à travers une interaction entre deux agents et correspond à un rôle. Le fonctionnement du système est lui-même décrit en termes de groupes (groupe System, groupe Mobility) et les services généraux en termes d'agents, groupes et rôles (communication à distance, mobilité des agents, inscription et sortie d'un groupe, sécurité, ...). Les agents sont initialement conçus sans interfaces, les flots d'entrée et sortie standards étant automatiquement rendus sous la forme d'un composant graphique dans la G-Box. La définition d'une interface particulière pour un agent passe par la définition d'un `JavaBean™` graphique propre à l'agent sous la forme d'un `Component Java™` (objet graphique `Java™`).

La plate-forme Madkit© est utilisable sous diverses formes, l'applet consultable à l'aide d'un navigateur, la console (ou sortie en mode texte) ou l'interface graphique de la G-Box.

LA G-Box peut être davantage considérée comme un environnement de test et de développement de Systèmes Multi-agents, basée sur la `BeanBox (JavaSoft™)`, elle assure la création et la destruction d'agents et la mise à disposition à l'aide de la `ToolBox` de l'ensemble des agents disponibles. Elle permet entre autres l'édition et la modification de propriétés spécifiques à l'agent avec la `Property Box`.

La principale caractéristique d'une plate-forme multi-agents est, bien sûr, sa définition et sa description de l'agent. Dans la plate-forme Madkit©, l'agent Madkit© est identifié, d'une part par l'`AgentInformation` qui correspond à la carte d'identité de l'agent avec sa date et son lieu de création, son créateur, son nom courant, et l'`AgentAddress` qui est un identifiant général à unicité garantie, l'`AgentAddress` comprenant un identifiant local et un identifiant de plate-forme. L'`AgentAddress` est utilisée pour toutes les communications et tous les traitements du micro-noyau sont validés via l'`AgentAddress`.

Les services offerts par la classe agent de Madkit© (cf. Annexes) sont :

- l'envoi de messages (définis en héritant d'une classe `Message`) via l'`AgentAddress`, asynchrone avec la réception des messages via une boîte aux lettres,
- l'adhésion ou le retrait d'un groupe,
- la demande, l'abandon ou la délégation d'un rôle,
- plusieurs requêtes sur les groupes et les rôles, quels sont les groupes existants, quels sont les rôles assurés à l'intérieur d'un certain groupe, quels sont les agents qui tiennent un certain rôle à l'intérieur d'un certain groupe ?
- les processus de naissance, vie et mort de l'agent à travers les méthodes `activate()`, `live()` et `end()`.

L'agent ne peut cependant accéder directement à la référence du noyau courant, tous les appels de l'agent au noyau comprennent une référence sur l'agent lui-même pour identification. Les groupes et rôles sont, quant à eux, stockés par le micro-noyau.

La communication dans Madkit© est réalisée en local par le noyau agent et de manière distribuée par la participation de trois agents, l'agent Communicator qui gère l'envoi et la réception des messages en distribué, l'Agent GroupSynchroniser qui synchronise les groupes existants et les rôles existants entre les machines, et l'agent Migrator qui autorise la migration d'agents entre les deux machines.

B.LE MODELE

Nous allons présenter tout d'abord, les problématiques afférentes à la modélisation multi-agents de réseaux sociaux, nous les présenterons sous forme de plusieurs questions auxquelles, si nous n'apportons pas toujours une réponse, nous tenterons du moins de bien en définir le cadre.

A.PROBLEMATIQUE LIEE AUX RELATIONS ENTRE ACTEURS

(Qu'est-ce) Qui est l'initiateur de la relation ?

A partir d'un réseau déjà constitué, qu'est ce qui va créer une relation entre deux acteurs ? Qui a l'intention de créer la relation : un seul acteur, les deux acteurs à la fois, un groupe social qui fait pression sur un acteur pour se rapprocher d'un autre groupe social, deux groupes sociaux qui veulent se rapprocher l'un de l'autre ?

On peut considérer une approche **stratégique** ou intéressée pour la création de la relation, dans laquelle l'intention est plutôt monovalente. L'acteur a l'intention de créer la relation pour satisfaire des contraintes ou des buts personnels schématisés par le fait d'atteindre un certain degré de satisfaction qui conduit à la création de relations ("pour que je sois heureux, il me faut des amis, donc je vais chercher des amis !"), ou le désir de pouvoir ("pour être le plus puissant il me faut des alliés, donc je vais chercher des alliés !"). On peut aborder une autre approche concernant la relation initiée par les deux acteurs, il s'agirait plutôt d'une relation **contractuelle**, comme dans le cas de l'initiation d'une relation de travail entre employeur et employé le consensus sur cette relation étant, à l'origine, délimité par le contrat de travail, lequel contrat va définir le squelette de la relation par rapport auquel les deux acteurs pourront jouer d'un certain degré de liberté. Enfin on peut envisager le cas d'une relation **émergente** du réseau (contrainte structurale), (DEGENNE et FORSE, 1997), elle est consécutive à une évolution "naturelle" du réseau (deux voisins géographiques sont amenés un jour ou l'autre à entrer en interaction).

Ainsi, l'approche de relation intentionnelle de l'acteur pour accomplir un besoin ou un but s'identifie à la **vision individualiste** des réseaux sociaux, l'acteur est placé au centre du réseau et agit uniquement en fonction de ses intérêts (la satisfaction de l'individu en l'occurrence).

Cependant que le fait que ce soit un groupe social qui contraigne l'acteur à entamer une relation est plutôt en accord avec la vision "holiste" des réseaux sociaux. On peut en effet considérer la création de relation comme un effet de structure. La tendance structurelle est la complétion du réseau relationnel, plus le réseau est complet, plus la diffusion dans le graphe est facilitée. Il existe en fait des positions stratégiques dans le réseau détenu par les acteurs qui réalisent un pont entre deux structures, les deux structures, si elles sont désireuses d'échanger quelque chose sont obligées de passer par ce pont entre elles deux, les deux acteurs réalisant ce pont en tirent un certain pouvoir dont ils peuvent user, la tendance de la structure sera donc d'essayer de se passer de ce pont et donc de multiplier les ponts entre les deux structures. D'une

part cela réduit le chemin moyen reliant deux acteurs quelconques de chacune des structures, d'autre part cela réduit le coût de passage entre les deux structures, la situation de monopole étant éradiquée.

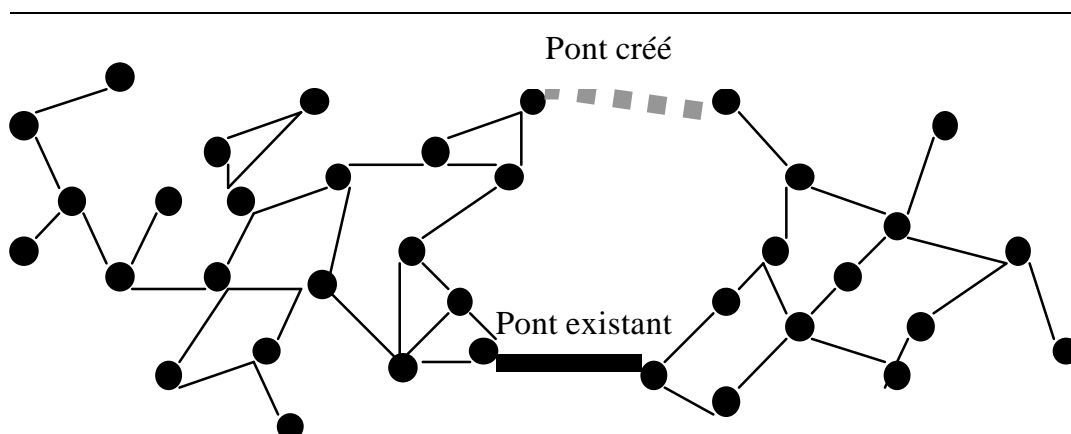


Figure 14 Création de relation « pont » contrainte par deux structures

Les acteurs sur lesquels pèsent les structures pour la création de la relation sont choisis en fonction de leur place au sein du réseau et de leur proximité mutuelle (selon le voisinage dans le plan considéré (voisinage géographique, familial, ...)).

Quel rôle joue le facteur temps vis à vis de la relation ?

On peut concevoir que la création de liens sociaux provienne du contexte événementiel (une manifestation d'agriculteurs, une réunion d'amis où tout le monde ne se connaît pas (on peut alors avoir la complétion des triades avec des lois du type "les amis de mes amis sont mes amis")). On peut aussi concevoir que le contexte événementiel puisse être la source du changement de valeur de la relation ("plus on se rencontre, plus on devient proche"). Dans le modèle MONA, destiné à la simulation de la diffusion de l'épidémie du SIDA, la source de changement des relations sexuelles est événementielle, des événements sont portés dans un échéancier qui permet l'évolution de toutes les relations du modèle (LEPONT et VALLERON, 1993), (BAJOS et coll.,1998).

Dans un contexte différent si on veut faire entrer la variable temps dans les facteurs influents sur une relation, on peut considérer, non plus les événements, mais les durées. Chaque acteur possède un investissement en temps (time budget) fini, et il peut l'investir dans différentes relations, sachant que les relations auxquelles l'acteur ne consacre pas de temps, peuvent être désactivées (SNIJDERS et coll., 1994). Celles-ci peuvent cependant être réamorçées à tout moment, le fait qu'il y ait déjà eu une relation entre les deux acteurs permettant d'éviter la phase d'initialisation de la relation ("je me présente..."), au profit d'une phase de reconnaissance et éventuellement de remise en place de la relation ("on s'est déjà vu au colloque Alpha l'an dernier !" permettant de reprendre la relation où elle en était restée tout en spécifiant le contexte relationnel).

On peut envisager dans l'optique du time budget deux approches possibles de la temporalité de la relation entre les deux acteurs, la fréquence des interactions et le temps consacré lors de chaque interaction. On peut facilement induire que le fait d'avoir de nombreuses mais brèves interactions n'influe pas de la même façon que des interactions plus espacées dans le temps mais de plus longues durées (une journée, une semaine...) et donc peut-être plus approfondies. On

peut ainsi induire que les variables temporelles les plus importantes à prendre en compte seront *la fréquence des rencontres, la durée des rencontres et la durée totale de la relation*. Ces variables permettent de caractériser des relations types, les relations professionnelles sont par exemple composées de manière caractéristique, d'interactions fréquentes mais brèves sur une plus ou moins longue durée, les relations amicales seront composées d'interactions moins fréquentes mais plus longues et prolongées dans le temps. Ces variables peuvent aussi être considérées comme des facteurs limitants de certains types de relations (je croise ma boulangère une minute par jour, il y a peu de chances que je contracte une relation d'amitié avec elle !). Ces variables peuvent aussi initier un changement dans la relation (je vais faire du vélo avec Jean-Paul depuis 20 ans tous les dimanches, il y a de fortes probabilités pour que je contracte une relation d'amitié avec lui !).

Les liens sociaux sont-ils détruits ou désactivés ?

On peut considérer qu'il y a un lien social dès lors qu'il y a une rencontre ou un échange de paroles. On peut alors remplacer la destruction de liens ("lorsqu'on a rencontré la personne, on la connaît pour toujours") par l'introduction de deux états actif/inactif pour la relation. Dans la mesure où chaque acteur a la possibilité de décider du devenir de la relation, il peut être intéressant d'introduire ces deux états actif/inactif pour chacun des deux acteurs (traduisant l'état dans lequel chacun considère la relation), on obtient alors quatre états : actif/actif, actif/inactif, inactif/actif et inactif/inactif qui sont susceptibles de décrire la relation (les états actif/inactif et inactif/actif n'étant pas les mêmes et traduisant le fait que l'acteur considéré se trouve soit en position de demande ou en position de refus de la relation). La problématique concernant les liens se déplace alors de la création et la destruction des liens à l'évolution de la valeur et des états associés aux liens. Les liens sont désactivés quand il y a volonté de l'acteur de supprimer la relation. Si on considère une relation composée de plusieurs relations élémentaires dans chacun des plans relationnels où il y a potentialité de co-action, la perte d'une des potentialités de co-action entre deux individus dans un de ces plans relationnels, entraîne-t-elle la désactivation, la suppression ou le changement de plan de la relation ? Dans la mesure où l'acteur conserve une mémoire de ses relations, on peut considérer, dans le cas de la perte d'une potentialité de co-action le déplacement de cette relation vers un plan mémoire relationnelle ou vers un autre plan où il est susceptible d'exister une relation entre les deux acteurs, sous forme de passé relationnel à cette relation. Par exemple, mon ami Richard pouvait me permettre d'avoir un découvert plus important parce qu'il s'occupait de mon compte dans sa banque. Maintenant, il n'y travaille plus ! Il y a donc perte de la potentialité de co-action «services bancaires » entre Richard et moi, mais Richard reste tout de même mon ami !).

Les relations émergentes abordées du point de vue de l'acteur !

Revenons sur le fait que des relations peuvent émerger du réseau par évolution "naturelle" ou par contrainte structurelle (figure). On peut considérer cette évolution comme un changement d'état des acteurs ou des groupes sociaux. On pourrait considérer des états favorable/défavorable à la création de relations le changement d'état se faisant simplement par évaluation de la relation de la part de l'acteur (évaluation non objective, cela va de soit...). Deux acteurs (ou deux groupes sociaux) se trouvant dans un état favorisant l'extension de leur réseau (propices aux rencontres), pourraient alors créer une relation et ceci par le simple fait qu'ils se trouvent dans le même état et qu'ils se rencontrent (initialisation physique de la relation). On doit modérer ceci, car un acteur "en manque d'amis" ne va pas rencontrer tous les acteurs qui sont dans le même état ! On suppose que d'autres variables entrent en jeu pour la création de la relation, notamment dans le cas des relations affinitaires (tendance à l'homophilie).

Pourquoi s'intéresser à l'acteur quand on s'intéresse à la structure du réseau ?

La structure globale du réseau est mise en place à un niveau inférieur d'une part par la dynamique des relations et d'autre part par des dynamiques d'acteurs qui contractent des relations, ces relations sont contractées en fonction même des caractéristiques propres de chaque acteur, et, même si l'on peut mettre en évidence sans tenir compte de ces simples caractéristiques des méta-phénomènes tels que l'homophilie ou l'homogamie, il peut être intéressant de passer par les attributs descriptifs de ces acteurs, au moins pour exploiter les données collectées (description de population). Il est de même intéressant d'avoir accès aux données caractéristiques de l'acteur vis à vis du réseau (degré de centralité, multiplicité des liens, ...) et de pouvoir les comparer aux attributs caractéristiques de l'acteur.

Peut-on prendre en compte des notions de motivation ou de satisfaction de l'acteur ?

Comment modéliser la motivation ou la satisfaction de l'acteur dans le cas d'une approche individualiste dans laquelle la satisfaction de l'acteur serait liée à la création ou la destruction de liens ! On peut appliquer le raisonnement très simple d'un acteur stratégique dont le but est d'être satisfait. On mesure sa satisfaction à l'aide d'une variable S qui varie au cours du temps. Quand l'acteur est satisfait, il ne change pas de stratégie relationnelle, soit il connaît un état de stagnation relationnel, il ne crée ni ne désactive des liens, soit il conserve la dynamique relationnelle qui était la sienne (s'il était en phase création de liens, il continue de créer des liens, s'il était en phase désactivation des relations, il continue dans la même voie). Une relation non entretenue est désactivée à long terme. Quand l'acteur n'est pas satisfait, il recherche de la satisfaction en changeant sa stratégie relationnelle. On peut améliorer ce modèle en remplaçant la variable S par un vecteur S dont les composantes seraient diverses formes de satisfaction respectivement une par plan relationnel, qui pourraient éventuellement se compenser entre elles (satisfaction sexuelle, professionnelle, morale...). On rejoint la notion de plan affecté à un type de relation, un acteur qui n'est pas satisfait du point de vue moral va chercher à changer de stratégie relationnelle dans le plan moral (recherche ou refus de la spiritualité par exemple).

On peut inclure dans ce modèle la modélisation des normes comme des dépendances entre les types de satisfaction et certains attributs caractéristiques de l'acteur. Ceci est vérifiable dans le cas des normes techniques, des normes existantes notamment dans le plan du travail où une certaine tradition un certain savoir-faire technique subsiste, l'acteur est alors incité à imiter cette tradition technique (excepté dans le cas rejet des normes), dans le cas d'un agriculteur qui possède la norme technique du bêchage à la main (indépendamment de son efficacité, les arguments de justification des normes techniques étant souvent liés à la qualité), on pourra mettre en place une dépendance entre les composantes "satisfaction morale d'avoir un travail fait selon ma tradition !" et "satisfaction d'avoir des conditions de travail plus agréables" (ce qui n'est pas le cas avec le bêchage à la main), ces dépendances peuvent en fait souvent être envisagées comme des rapports inverses entre des composantes de la satisfaction.

Quels attributs peuvent entrer en jeu pour la création de relation ?

Les liens relationnels sont souvent, en matière de questionnaire sociologique décrits sous forme de scénarios, de manière à obtenir des critères globaux comparables (peu de personnes ont la même définition de l'amitié). De même, on pourrait décrire les acteurs selon des attributs qui prédisposeraient à certains scénarios. Au scénario "aime faire du vélo avec..." correspondrait alors l'attribut "aime faire du vélo". C'est beaucoup plus qu'une potentialité de co-action, puisque l'on prend en compte les goûts personnels de l'acteur et non plus seulement les capacités nécessaires à l'existence de la relation. Le fait de lier la création de relation aux attributs descriptifs des individus peut être rapproché du principe des petites annonces (JH sport. kayak

joue échecs souhait. Renc. JF kayakiste) utilisé pour la création des liens dans le modèle MONA, modèle destiné à la simulation de l'épidémie du SIDA (LEPONT et VALLERON, 1993), (BAJOS et coll., 1998), dans lequel il n'y a de relation sexuelle entre un homme de 25 ans et une femme de 23ans que si l'homme recherche une partenaire de 20-24 ans et la femme recherche un partenaire de 25-30 ans. On pourrait alors se ramener à un modèle de marché où le produit échangé devient la relation la plus satisfaisante possible (en terme d'homophilie par exemple). Cette comparaison, en permettant la négociation entre acteurs pour une relation, donne la possibilité d'introduire une certaine tolérance dans le choix de l'individu (JH sport kayak joue échecs souhait. Renc. JF sportive). Un certain nombre d'attributs descriptifs propres à l'individu peuvent ainsi servir à la constitution de la relation et à l'évolution des valeurs rattachées à la relation : les activités de loisirs, la profession, les compétences, la situation géographique, la langue, ... Il est possible de pondérer les attributs de manière à ce que certains soient davantage pris en compte, lors du choix, que d'autres.

D'autres attributs proviennent directement de la théorie des graphes, et sont liés à la structure du réseau et non plus à l'individu. Mais en étant appliqués à des sous-réseaux (des cliques ou des cercles sociaux), ils permettent de décrire la position de l'individu au sein du réseau et par conséquent peuvent servir au choix de la relation (centralité, densité, multiplicité, ...).

Les attributs caractéristiques de la relation

La relation entre deux acteurs peut être caractérisée par les deux intervenants et leurs attributs respectifs, le champ de co-action des deux acteurs ou l'ensemble des plans relationnels dans lesquels la relation peut potentiellement exister, la durée de la relation, et enfin la distance qui existe pour chacun des deux acteurs entre son modèle relationnel pour le ou les plans considérés et l'acteur avec lequel il est en relation pour remplir ce rôle.

La dynamique relationnelle est l'élément qui transforme un graphe figé liant des acteurs entre eux en une structure active qui joue sur la diffusion de l'innovation. Elle amène elle aussi une série de questions.

B.PROBLEMATIQUES DES CREATIONS DE RELATIONS

Il faut distinguer deux dynamiques de création de relations, celles que l'on attribue à l'acteur et celles que l'on attribue aux relations elles-mêmes (ou au réseau). Nous allons détailler les phénomènes de création de relation en suivant ces deux dynamiques.

On distingue deux grands type de création de relation :

- Création de relation par translation entre plans,
- Création de relation par transitivité.

La translation entre les plans étant plutôt abordée à travers une dynamique structurelle de la relation, il y a évolution structurelle de la relation, (Jean-Paul et Yves vont faire du vélo tous les dimanches ensemble depuis 20 ans, ils ont donc une relation entretenue dans le plan sportif qui pouvait se présenter au départ uniquement comme une collaboration sportive, il va se créer une relation dans le plan amical qui n'existait pas forcément au départ). On peut tout à fait reconnaître qu'il peut aussi y avoir une translation relationnelle consécutive à une dynamique de l'acteur (Jean-Marc et Thierry sont parents, Thierry recherche un emploi et a l'intention consciente, stratégique, de créer une relation dans le plan relationnel du travail avec Jean-Marc).

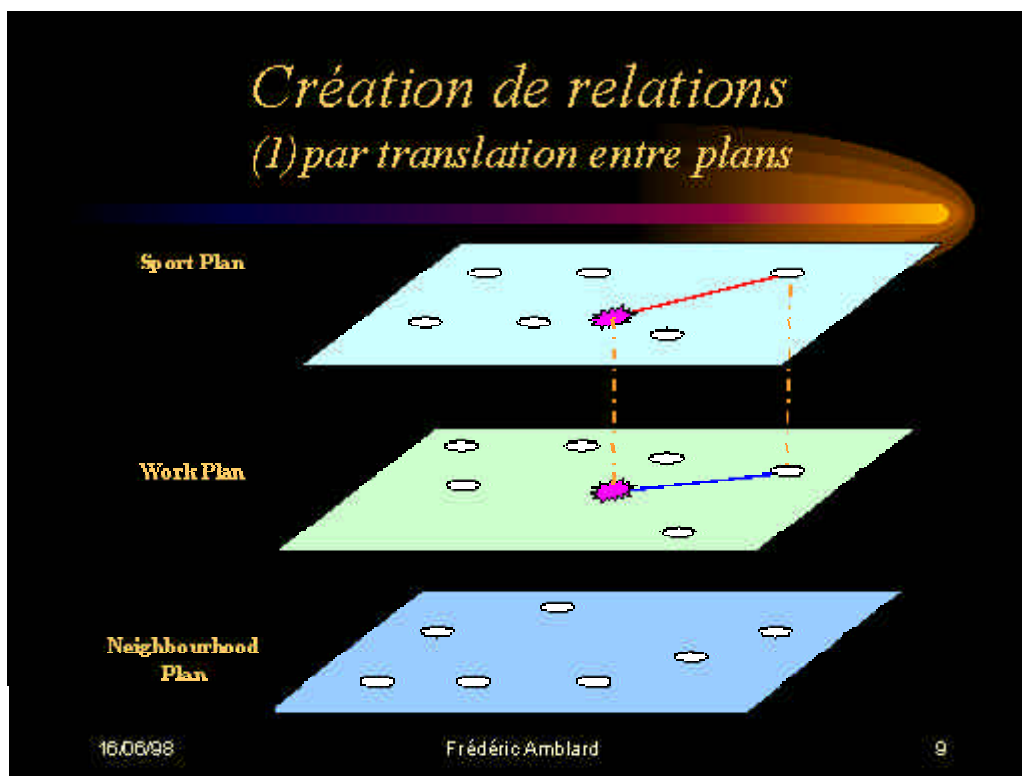


Figure 15 Création de relation par translation entre deux plans relationnels : « Je travaille avec Yannick et un jour on décide de jouer au tennis ensemble »

La création de relation par transitivité peut aussi bien être attribuée à une dynamique d'acteur qu'à une dynamique des relations. La transitivité selon une dynamique de l'acteur peut-être vue par une recherche ou une demande relationnelle de l'acteur (L'acteur A1 demande à A2 une ressource que A2 ne peut pas lui apporter, par contre, il connaît A3 qui lui, peut lui apporter, il y a alors création de la relation A1-A3). Du point de vue de la dynamique structurelle, la transitivité s'identifie à la complétion des structures (complétion des triades dans le cas de l'exemple précédent).

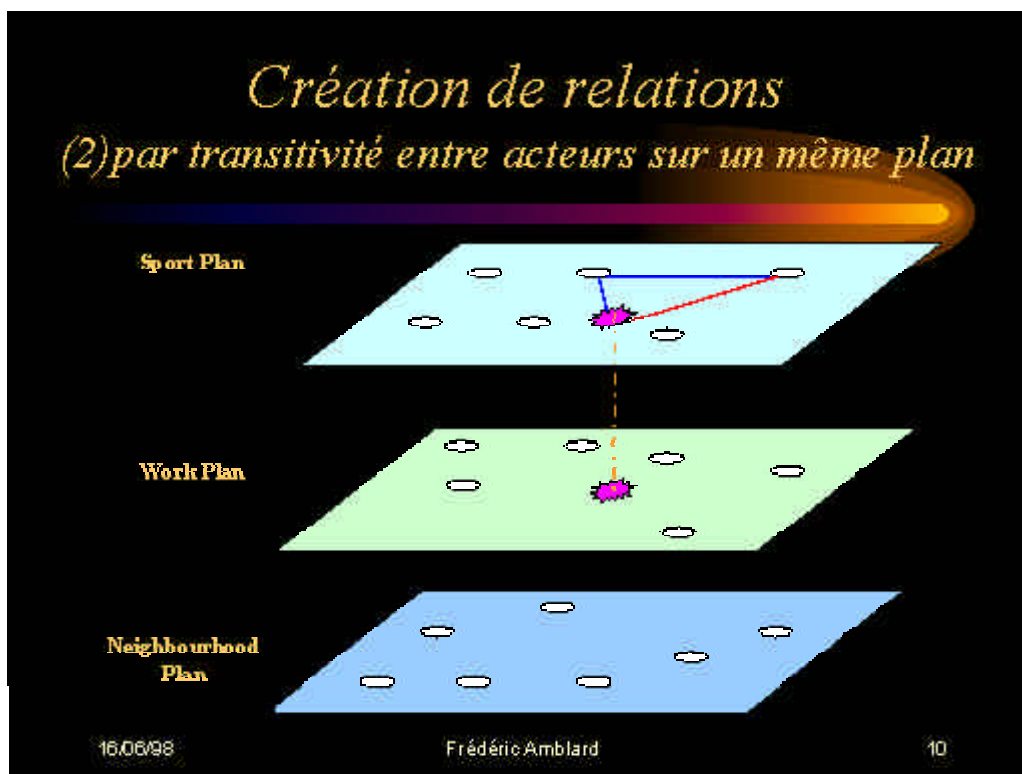


Figure 16 Création de relations par transitivité entre acteurs dans un même plan relationnel : « Je joue au tennis avec des partenaires de mon partenaire habituel » ou « les amis de mes amis sont mes amis »...

Cette complétion de structure peut être étendue sur plusieurs plans relationnels (figure, Figure 17), la composition des plans permettant de revenir à une complétion de triade, ceci pour une transitivité de degré 1. Cependant, la pseudo-transitivité sur deux plans s'identifie davantage à un autre phénomène, le phénomène de reconnaissance de l'autre par ses attributs et de relations en dehors du contexte. Par exemple, deux employés de Minisoft ont le même patron Gill Bates, ces deux acteurs ne se connaissent pas, cependant, s'ils se croisent en dehors du contexte travail où l'on attendrait à ce que se crée la relation, et qu'ils identifient leur appartenance commune à Minisoft, la relation va se créer (le phénomène est identique lorsque deux vacanciers français se rencontrent en dehors de leur pays, il y a un phénomène d'appartenance).

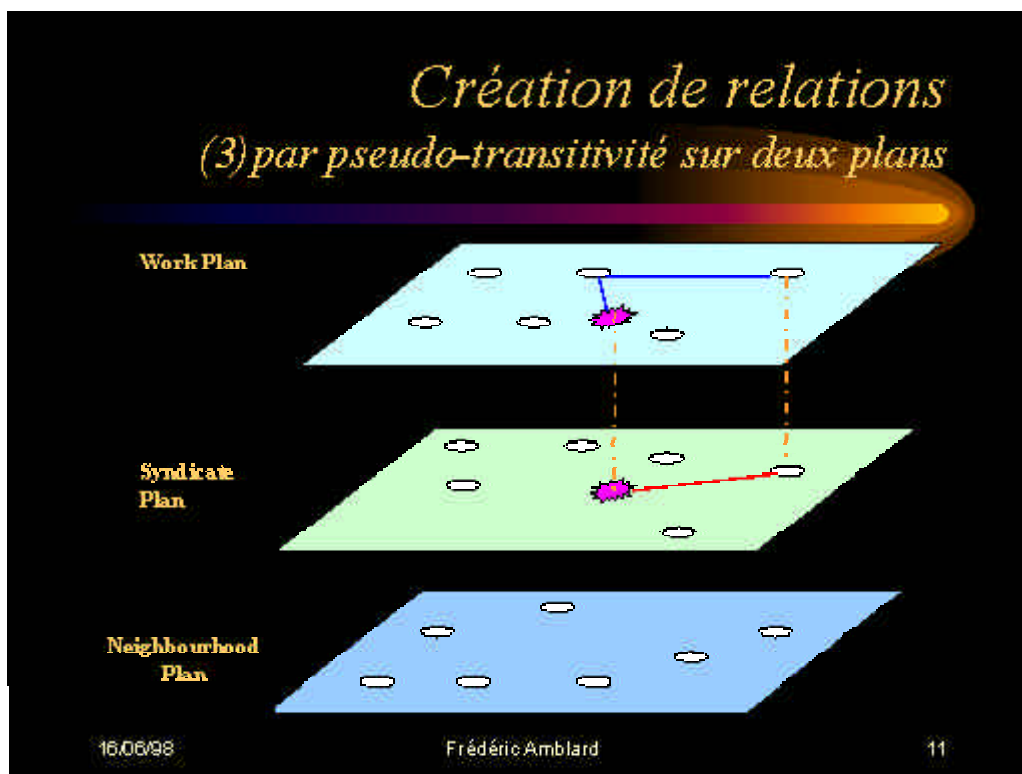


Figure 17 Création de relations par transitivité sur deux plans : « deux employés de Gill Bates se rencontrent en vacances »

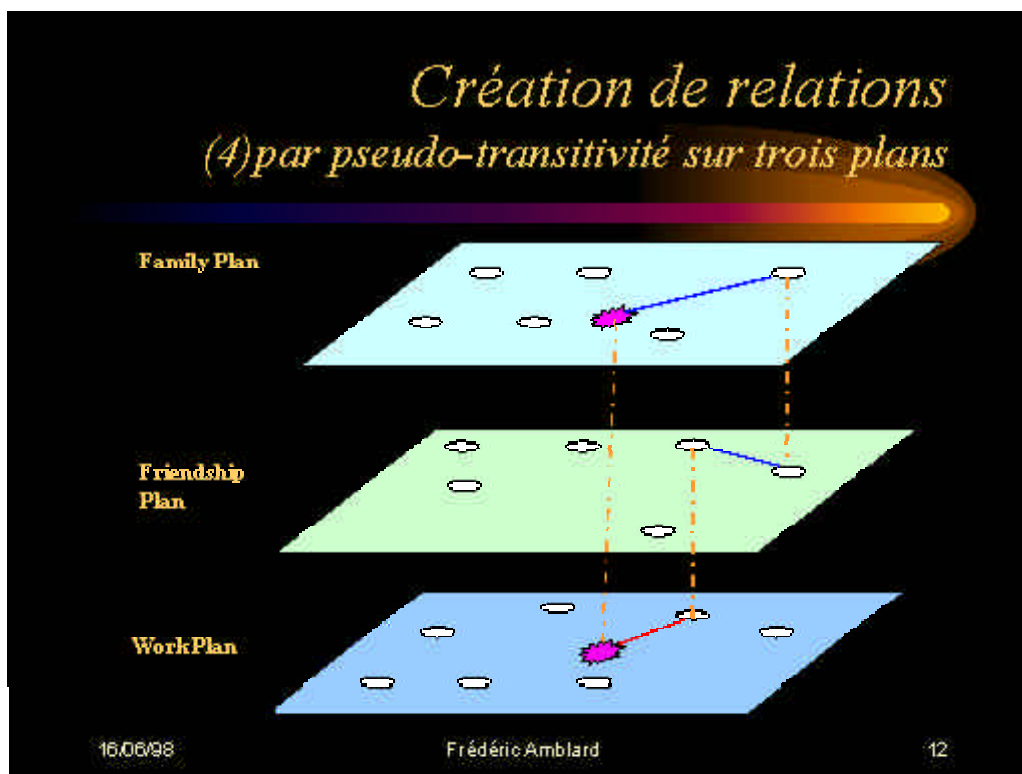


Figure 18 Création de relations par pseudo-transitivité sur trois plans : « Je joue au tennis avec un ami de mon frère ! »

Un travail permettant de bien illustrer la transitivité relationnelle d'ordre supérieur dans le cas d'une dynamique d'acteurs, est celui de (GRANOVETTER, 1974) sur la recherche d'emploi. Un acteur A recherche un emploi (il peut tout à fait s'agir d'un autre type de ressource), il va envoyer cette information dans son réseau (i.e. il va en parler autour de lui), l'information va parcourir la structure à la recherche des acteurs qui possèdent la ressource, lesquels vont la négocier avec tous les demandeurs, les acteurs qui possèdent la ressource vont ainsi déterminer avec qui ils vont créer cette relation (la négociation peut se faire en terme de proximité relationnelle dans le réseau). On peut ainsi mettre en évidence un véritable marché relationnel au sein du réseau.

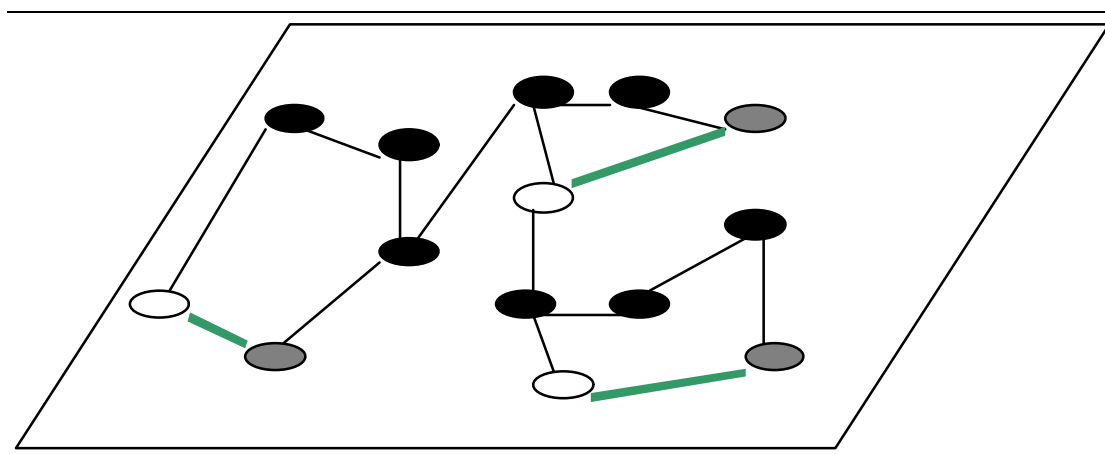


Figure 19 Les acteurs demandeurs d'emploi (hachurés) sollicitent leur réseau à la recherche des acteurs qui offrent un emploi (gris), la relation(en gras), au final se créée par transitivité.

C.MODELISATION DE LA DYNAMIQUE RELATIONNELLE

Deux dynamiques relationnelles coexistent au sein du réseau. Elles agissent concurremment pour la création, l'évolution et la destruction des relations. D'une part, la dynamique structurelle, correspondant à l'approche holiste, recouvre des évolutions " naturelles du réseau " : initiation de relations par proximités induites par le reste de la structure, complétion des triades et changements de valeur de la relation. D'autre part, la dynamique d'acteur qui rejoint l'approche individualiste, pour laquelle l'acteur évalue la création et l'évolution de ses relations par rapport à un référentiel ou un modèle relationnel, à ses besoins relationnels et aux offres relationnelles qui lui sont faites par les autres acteurs (ZEGGELINK, 1993).

Ainsi dans le modèle, on introduit un objet supplémentaire pour chaque acteur et relativement à chaque plan relationnel : sa population de relations possibles. Elle est constituée par l'ensemble des acteurs qui peuvent, de part leurs attributs caractéristiques, être en relation avec lui. On la construit en considérant la distance qui existe entre l'acteur susceptible d'être retenu et le modèle relationnel de l'acteur dans le plan relationnel considéré (du point de vue des attributs). Dans le calcul de la distance, on donne le même poids à tous les attributs, il s'agit alors d'une distance globale entre les attributs de deux acteurs. Après le calcul de toutes les distances, on obtient quatre séries d'acteurs ayant de zéro à trois caractéristiques communes avec le modèle. En prenant une proportion paramétrable de chacun de ces vecteurs, on constitue alors la population des relations possibles.

Dans un plan relationnel fixé, si l'acteur est en manque relationnel, c'est-à-dire si son objectif relationnel n'est pas atteint, il va lancer plusieurs offres relationnelles, le nombre d'offres étant

proportionnel au manque relationnel de l'acteur. Les offres sont évaluées par les autres acteurs en fonction de leur manque relationnel, de la distance qui existe entre l'offreur et le modèle relationnel du plan considéré dans l'offre et des autres offres relationnelles disponibles. La réponse qu'elle soit positive ou négative est alors envoyée aux différents offreurs qui créent un agent relation si la réponse est positive ou qui retire l'acteur de la population des relations possibles et l'ajoutent à la liste des «persona Non Grata », les acteurs qui ont refusé l'offre dans le cas contraire. Lors de la création de la relation on détermine la durée de vie de la relation, celle-ci pourra cependant être prolongée si, par exemple elle évolue et se déplace à un autre plan.

Pour laisser à l'acteur l'initiative effective de la création des relations, on introduit la dynamique relationnelle structurale sous la forme d'une proposition relationnelle faite par la structure à l'acteur. Ainsi, l'agent relation qui est à l'instigation des dynamiques structurales, soit isolément pour la création de relations réalisant la translation de la relation entre deux plans ou la transitivité dans les triades, soit de manière concertée pour la création de relation par influence des structures, propose de nouvelles relations aux acteurs en ajoutant les acteurs concernés dans les populations de relations possibles respectives.

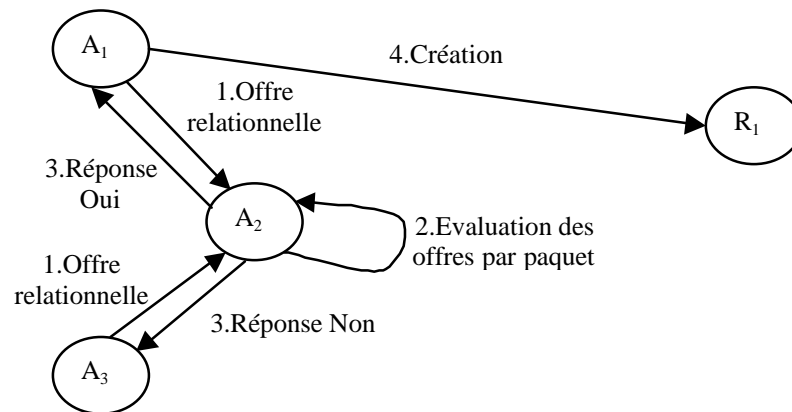


Figure 20 Schéma fonctionnel de la dynamique relationnelle des acteurs dans un plan fixé

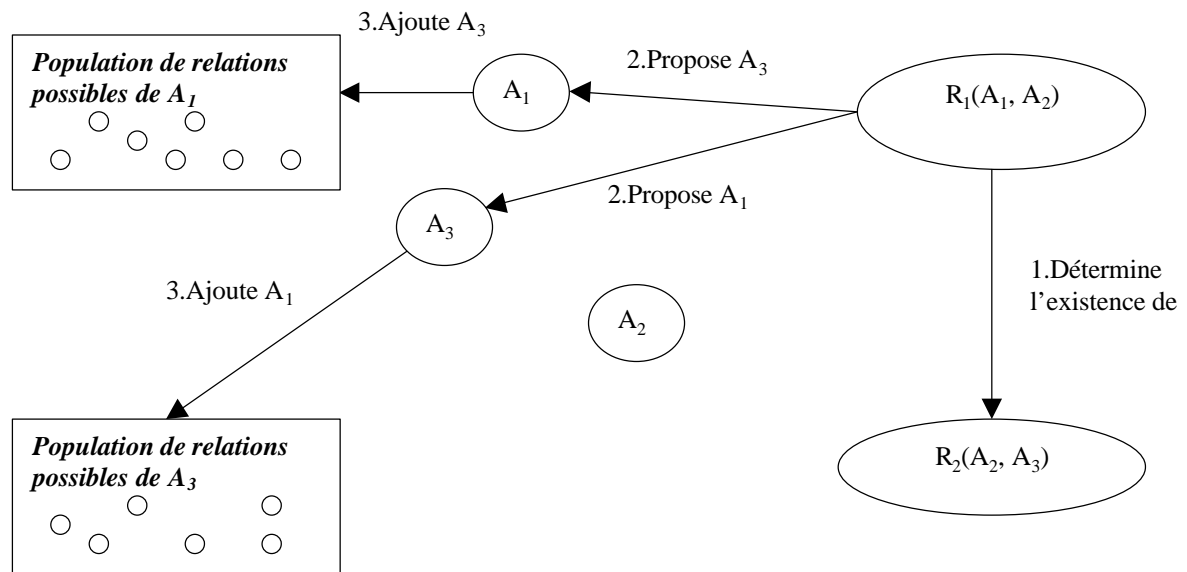


Figure 21 Schéma fonctionnel de la dynamique structurelle : cas de la complétion de triades

Une fois abordés les problèmes relatifs à la dynamique et à l'évolution de la structure sociale, nous pouvons introduire la dynamique décisionnelle dans le réseau social.

D.NORMES, INNOVATION ET DYNAMIQUE DECISIONNELLE

En suivant l'approche sociologique, les normes correspondent à un comportement prescrit. La non-observance de la prescription entraînant une sanction autant sociale que pratique. Une norme vaut pour un domaine de comportement particulier (techniques agricoles, mercantiles) et les conflits entre normes peuvent intervenir à différentes échelles :

Le conflit peut exister entre plusieurs acteurs relativement à un domaine particulier :

- Soit entre groupes d'acteurs ou entre classes sociales (les riches appliquant une norme N1 et la classe moyenne une norme N2),
- Soit entre groupements micro-sociaux, des cercles locaux, des groupes primaires d'interconnaissance ou des associations particulières (harmonie municipale et centre musical par exemple),
- Soit entre acteurs individuels.

Le conflit peut aussi apparaître chez un acteur relativement à plusieurs domaines :

- Entre deux domaines des normes peuvent imposer des comportements pratiquement contradictoires ou incompatibles,
- Entre deux domaines des normes peuvent reposer sur des valeurs contradictoires : les comportements prescrits sont pratiquement compatibles, mais les principes, les valeurs, qui gouvernent ces comportements sont contradictoires (par exemple, il faut être solidaire dans la famille, mais concurrentiel en économie). Ceci entraîne des problèmes de cohérence comportementale pour l'individu qui doit gérer les passages entre domaines.

Pour un seul acteur un conflit de normes peut exister dans un domaine :

- Lorsque l'acteur appartient lui-même à des cercles où prévalent des normes différentes,
- Ou lorsque l'acteur est en relation avec des partenaires appartenant à des cercles où prévalent des normes différentes.

Les conflits de normes sont la forme la plus fréquente d'existence des groupes et des individus. L'intensité de ces conflits est variable suivant les conflits, si elle est telle que les acteurs ne peuvent plus s'en accommoder, alors des changements de normes se produisent.

E. INNOVATION ET CHANGEMENT DE NORMES

On dira que les changements de norme supposent un processus qui comporte à un moment un conflit de normes. Il faut cependant en terme d'innovation et de changement de norme distinguer deux cas. D'une part la diffusion d'une innovation qui est l'écrasement d'une norme N1 par une norme N2, il faut alors concevoir la diffusion comme la substitution d'une norme à une autre et les liens entre acteurs interviennent sous forme de pression structurelle pour inciter au changement. D'autre part, on peut considérer l'émergence d'une innovation comme étant la production entre acteurs d'une nouvelle norme sous des conditions particulières, les liens entre acteurs inventent alors un contenu normatif ou renforcent le contenu existant ou autorisent la dominance d'un des contenus normatifs par rapport aux autres.

Le modèle de diffusion suppose une injection de l'innovation dans le réseau social. Beaucoup de théories supposent qu'il existe des groupes ou des acteurs innovateurs et ceux-ci ont différents types de contacts et d'influence avec le reste de la population (DEGENNE, FORSE, 1997). On distingue ainsi deux types de relation d'influence : innovateur/suiveur ou suiveur/suiveur. L'intégration au modèle de relation d'influence permet d'introduire des rapports de pouvoir.

F. SUBSTITUTION DE NORMES

Comment définir les conditions qui conduisent à la substitution d'une norme par une autre ? On peut distinguer deux types de substitution. La première substitution sera de type influence interpersonnelle de l'innovateur vers le suiveur avec une logique de type «oui/non ». L'influence dyadique peut être alors effective si le lien existe entre les deux acteurs ou s'il existe au moins 2 ou n relations directes entre l'acteur considéré et des innovateurs (ou des adoptants). La deuxième substitution correspondant à des influences cumulatives partielles avec un changement collectif simultané des membres d'une clique ayant atteint un certain seuil de sensibilisation à cette nouvelle norme peut être décrite sous la forme d'un processus qui commence par des influences dyadiques correspondant au type de substitution précédent et qui, au lieu de produire directement le changement de l'acteur concerné, ne font que produire une sensibilisation qui ne devient efficace et ne produit de changement de norme que collectivement dans la clique.

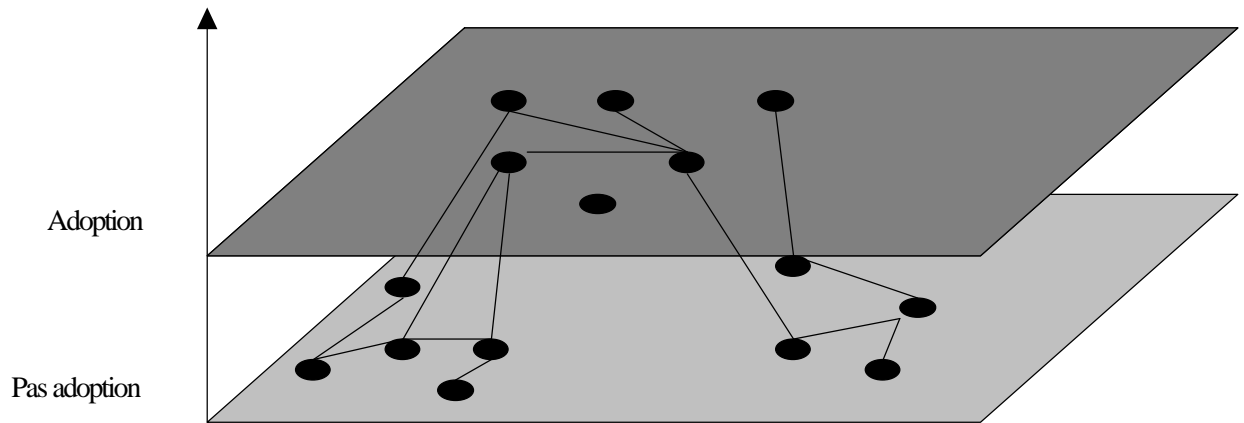


Figure 22 Schéma d'adoption groupée par clique

G.RESOLUTION DE CONFLITS DE NORMES

La confrontation entre des acteurs quelconques mais porteurs de certaines contradictions normatives permet la définition d'une nouvelle norme entre ces acteurs (ROGERS et KINCAID).

Nous décrivons l'ensemble normatif qui est amené à être introduit dans le réseau sous forme de deux normes N_a et N_b , N_b étant une norme déjà introduite et appliquée dans au moins une partie du réseau social et N_a étant la norme qu'il nous intéresse d'introduire. On décrit la position de l'acteur vis à vis de ces normes sous forme d'états instables a , b , ab , et d'états stables A , B , AB . Les états instables correspondent à la non-existence d'une politique de groupe quant à cette norme (elle n'est pas encore adoptée par la clique dont l'acteur fait parti).

La diffusion dans le réseau commence par l'introduction dans le réseau d'une population d'innovateurs a et b . Par jeux d'influence interpersonnelle on a diffusion dans le réseau et on a, pour chaque acteur, les évolutions de norme suivantes :

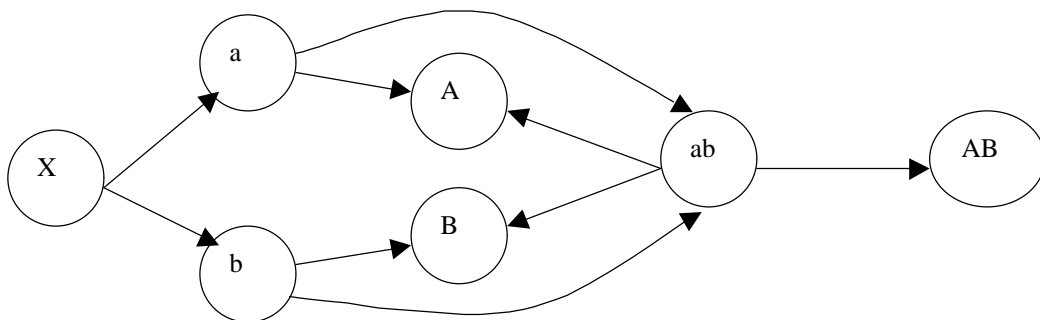


Figure 23 Schéma d'évolution des états de l'acteur vis à vis des normes

Les situations problématiques correspondent à des cas dans lesquels l'acteur se situe à l'intersection de deux cliques A et B , il est fort possible que son état reste à tout jamais ab , c'est à dire un état instable le poussant à adopter l'une et l'autre norme. Il est à noter que l'état normatif AB ne correspond pas forcément à l'adoption de A et B , si ces deux normes ne sont pas contradictoires, il se peut fort bien qu'il adopte en effet les deux normes telles qu'elles sont ; cependant, si les normes A et B sont relativement contradictoires, l'état AB suppose que l'acteur atteint une stabilité vis à vis de ces normes en les adaptant toutes deux. Les conjonctures qui

permettent les passages a-A, b-B, ab-AB, sont du type changement par clique. Dans le cas d'un conflit de norme entre A et B, on ne peut sortir que vers un état stable, on aura donc les évolutions ab-A, ab-B, mais aucune autre alternative. Les passages de l'état X (aucune des deux normes de connues) à a ou b ou de a-ab ou b-ab sont de type influence interpersonnelle ou diffusion d'information relativement aux normes a et b. De telle sorte, nous pouvons modéliser le rôle innovateur des marginaux : pour être ab il faudra être entre les a et es b ou entre les A et les B.

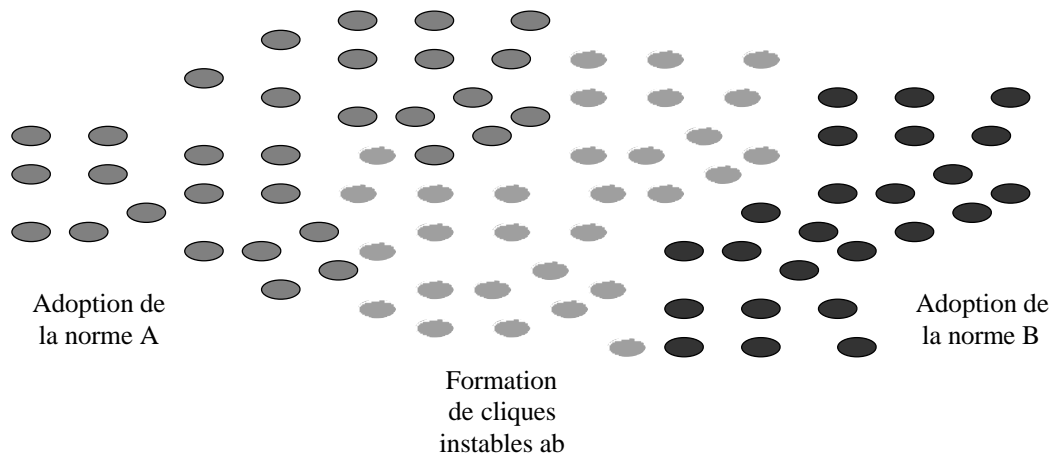


Figure 24 Emergence de cliques adoptantes, non adoptantes et instables

H.DYNAMIQUE RELATIONNELLE ET DYNAMIQUE DECISIONNELLE

Pour modéliser la diffusion et l'adoption de normes dans un réseau social évolutif on peut suivre plusieurs logiques de travail :

- Soit on génère une structure de réseau social, on la fige, puis on injecte la nouvelle norme et on assiste à la diffusion de la norme et à l'apparition et l'éventuelle résolution des conflits de normes,
- Soit, en itérant la logique de travail précédente, on génère un état du réseau, on introduit les normes et leur évolution dans la structure, puis, on rejoue la structure, ...
- Enfin, en reprenant la logique de travail itérative et en y ajoutant la rétroaction des normes sur les préférences relationnelles des acteurs.

I.MISE EN OEUVRE MULTI-AGENTS

L'implémentation du modèle a été réalisée sous la plate-forme Madkit© (GUTKNECHT, FERBER, 1997). La mise en œuvre multi-agents du modèle repose ainsi sur les fondements de la plate-forme Madkit : le modèle Aalaadin (FERBER, GUTKNECHT, 1997) et les concepts d'Agent, de Groupe, et de Rôle. L'implémentation est ainsi réalisée sous la forme de quatre types d'agents, les agents propres au modèle : les agents acteurs, les agents relations et les agents

cliques ; et les agents Madkit de contrôle du modèle : l'agent de simulation qui initialise le modèle et lance les agents acteurs, l'agent chargé de la saisie des paramètres du modèle qui les communique à l'agent de simulation, enfin l'agent de détection des cliques qui détecte les pseudo-cliques du réseau et lance les acteurs correspondants qui permettent l'adoption ou le changement groupé de normes sociales.

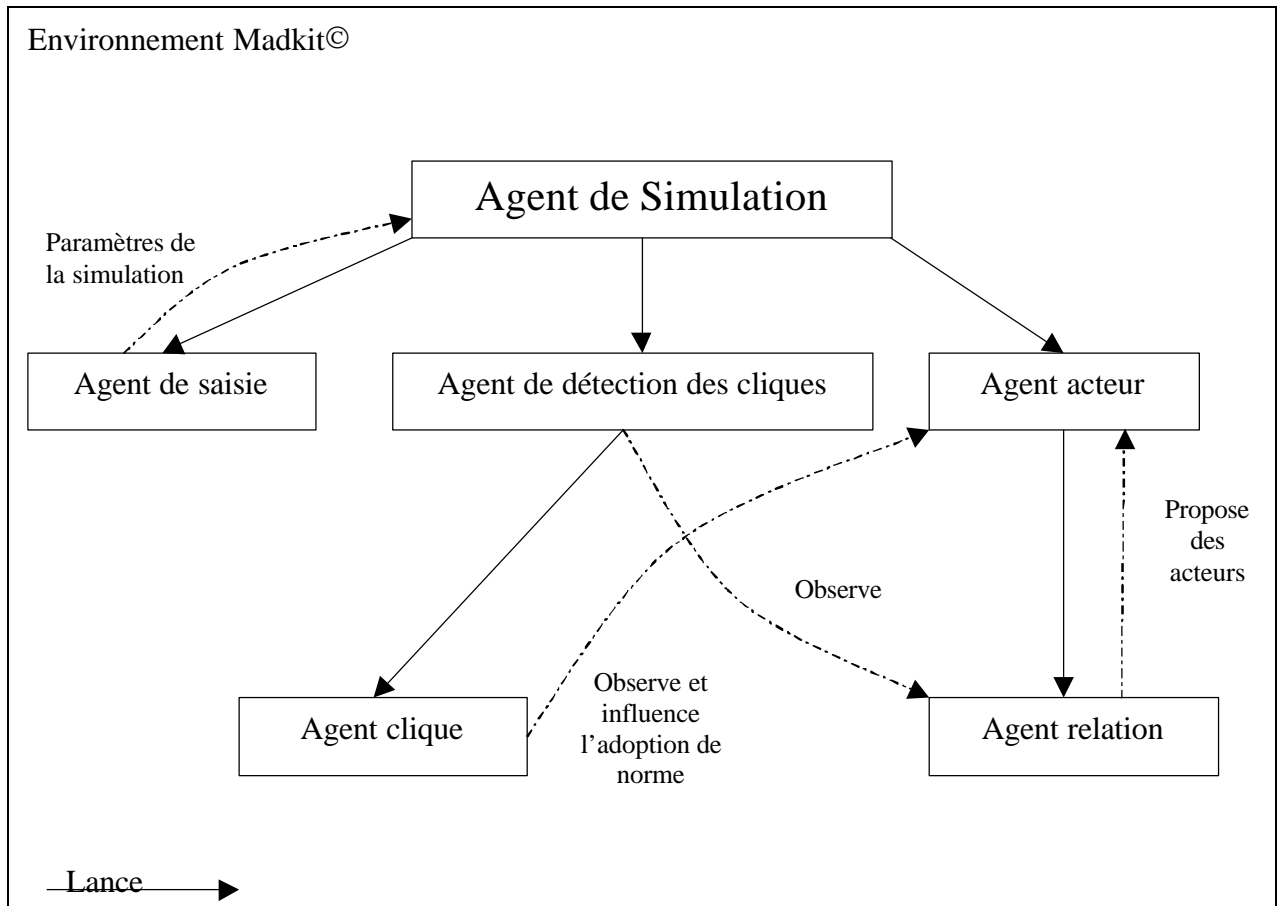


Figure 25 Communication et interactions entre agents Madkit constitutifs du modèle

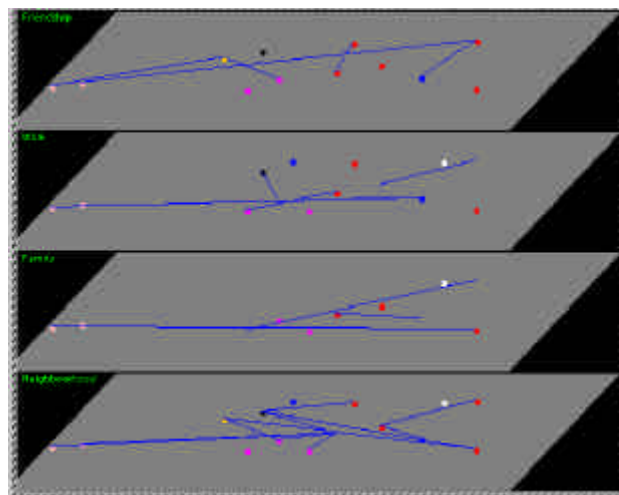


Figure 26 Visualisation des différents types de réseaux sous Madkit

C.DISCUSSION

Dans la perspective de la modélisation multi-agents de réseaux sociaux, nous allons aborder sommairement les avantages et les inconvénients de la plate-forme Madkit© dans le cadre de cette étude.

Comme quelques autres plates-formes, Madkit© gère la **distribution** de la plate-forme sur plusieurs machines et la **migration** des agents (échange d'agents entre deux machines), ce qui devient forcément très intéressant, voire essentiel, lorsque l'on décide de réaliser des simulations avec un nombre important d'agents, puisque l'on peut réaliser la simulation sur plusieurs ordinateurs, on n'est plus alors limité physiquement par le matériel. Un autre avantage est l'**hétérogénéité** des agents qui peuvent être développés sous Madkit, l'architecture, suivant le modèle Aalaadin, étant relativement peu contraignante et le concept d'Agent, de Groupe et de Rôle étant relativement fédérateur quant aux agents à modéliser. Enfin, Madkit© est très bien **documentée**, les auteurs ayant mis à disposition un tutoriel HTML, un guide visuel de la G-Box, un jeu très complet d'exemples quant à la création d'acteurs, la documentation complète du code étant établie grâce à Javadoc, enfin une pseudo – « Hot-Line » Madkit© dans le sens où les auteurs répondent toujours aux mails désespérés en apportant toujours une solution dépassant toutes les espérances.

Cependant, Madkit présente quelques manques (du moins à l'heure actuelle), ce qui a motivé, malgré le travail supplémentaire que cela impliquait, de changer de plate-forme. D'une part, Madkit, ne possède pas de panoplie statistique pour l'étude ou l'observation des agents. De plus, il n'y a pas, du moins à notre connaissance de lien ODBC implémenté sous Madkit qui permettrait un lien entre Madkit et une base de donnée. Enfin, il n'existe pour l'instant pas de lien entre Madkit et un SIG particulier (ArcView par exemple), ce qui, dans le cadre du projet Politiques Publiques et Paysages s'avérait nécessaire pour coupler une dynamique sociale à une dynamique paysagère. Une solution possible pour Madkit (et qui a été implémentée pour la plate-forme CORAMS) est d'augmenter les liens entre Madkit et d'autres logiciels, par la construction, comme nous le verrons dans le cadre de CORMAS, de lien Madkit-ODBC qui serait une simple extension du lien ODBC-JDBC, Madkit étant implémenté en Java, et du lien Madkit-DDE qui permettrait l'échange de données entre Madkit et les logiciels ayant implémentés la fonctionnalité DDE (Excel pour le traitement statistique par exemple).

Concernant le modèle lui-même, faute de données sociologiques orientées réseaux sociaux disponibles, nous n'avons pu encore valider ce modèle. Néanmoins, il nous faut insister sur l'émergence de la décision collective dans ce modèle, la prise en compte des structures relationnelles et l'aspect dynamique du modèle.

En ce qui concerne l'émergence de propriétés observables au niveau global à partir de définitions locales, la dynamique de décision collective décrite ici, répond à une typologie bottom-up. En effet, on ne définit localement que des attributs endogènes et des comportements stratégiques de l'acteur. Au niveau global on devrait obtenir l'émergence d'une part de coalitions décisionnelles (ou groupes décisionnels) structurées en cliques par une dynamique relationnelle sous-jacente à un positionnement stratégique des acteurs par rapport aux normes du système, ainsi, les acteurs se positionnent par rapport au système de normes et subissent lors de ce positionnement les influences de leur réseau relationnel, puis il y a structuration du système relationnel par rapport à ces positionnements (avec émergence de cliques ou de coalitions), et d'autre part l'émergence de coalitions qui s'adaptent au système de normes existant.

D'autre part notre modèle ainsi que d'autres résultats réalisés sur plusieurs études (CHWE, 1996) (ZEGGELINK, 1993), nous incitent à penser que les phénomènes émergents observés et leurs caractéristiques (vitesse d'émergence) seront liés à des formes de structures relationnelles particulières.

De plus, des études récentes (STOKMAN et DOREIAN, 1997) et plusieurs «écoles» en matière de simulation sociale (Surrey, Gröningen) s'accordent sur le fait que les sciences sociales ont jusqu'alors, et sans doute par manque d'outils, négligé l'aspect dynamique des phénomènes

sociaux. Les travaux de ce type sont assez novateurs et fournissent, à défaut d'une explication valable des processus et phénomènes sociaux observables, du moins une proposition pour l'explication de dynamiques sociales liées à la décision collective.

Ce modèle est encore trop générique, il lui manque les données nécessaires à sa validation. Ultérieurement seront aussi sans doute introduit la notion d'environnement, les acteurs agissant sur cet environnement par l'intermédiaire de leurs pratiques, l'environnement agit sur les acteurs par l'intermédiaire de contraintes environnementales.

3.MODELE EXCEL

Nous allons décrire ici, l'implémentation du modèle d'utilité attendue de Bueno de Mesquita sous forme distribuée sous MS-Excel, appliqué à un problème de gestion d'un territoire sectionnal (terrain possédé et géré par plusieurs acteurs). Après avoir brièvement présenté une utilisation de MS-Excel comme plate-forme multi-agent, nous décrivons notre modèle.

A.LA PLATEFORME MULTI-AGENTS MS-EXCEL ?

L'implémentation du modèle d'utilité attendue de Bruce Bueno de Mesquita, exposé plus haut, en mode distribué sous MS-Excel, possède au moins cette originalité d'avoir utilisé MS-Excel comme plate-forme multi-agents. Nous avons, pour cela, utilisé deux propriétés particulières d'Excel. Il s'agit d'une part de la possibilité de réserver une place autant en mémoire qu'en ce qui concerne la visualisation de chacun des agents, nous utiliserons ici, des feuilles ou des portions de feuille Excel, dans lesquelles apparaissent les valeurs des états internes de l'agent et des zones tampons pour chaque agent utile pour l'échange de messages(figure). L'échange de messages se réalise par l'inscription de l'agent émetteur directement dans la zone tampon de l'agent récepteur, les agents s'identifiant soit par leur position au sein du classeur Excel, soit par une feuille centralisant les adresses (une feuille de type bureau de poste). D'autre part, nous avons la possibilité de réaliser séparément une procédure en Visual Basic pour définir le comportement interne d'un agent, une seconde pour le scheduler d'agents assez semblable à celui réalisé sous Cormas, et enfin une procédure dédiée à l'observation de la simulation, sous la forme d'affichage et de traitement des résultats dans une feuille particulière.

	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5				Agent	
6					
7					
8			zone tampon		
9			de comm.	Etats internes de l'agent	
10					
11					
12					

Figure 27: Exemple d'agent sous MS-Excel

Nous devons cependant insister un tant soit peu sur le scheduler mis en place pour gérer les différents agents. MS-Excel ne gérant pas le parallélisme comme Madkit (Java) pourrait le faire, le scheduler correspond à une macro en Visual Basic qui décrit l'exécution d'un tour de simulation. Pendant ce tour, on réalise un ensemble d'opérations toujours les mêmes, et en particulier le scheduling des agents. Cette macro et le nombre de ses exécutions sont gérés au niveau supérieur par une macro qui gère l'ensemble de la simulation.

Le modèle de Bueno de Mesquita n'est pas le seul modèle à avoir été implémenté en suivant un formalisme multi-agent sous MS-Excel, Nils FERRAND a aussi implémenté un modèle de migration intra-urbaine en suivant des critères socio-économiques.

B.LE MODELE D'UTILITE ATTENDUE

Nous avons implémenté sous MS-Excel, le système multi-agent correspondant au modèle de résolution de conflits de Bueno de Mesquita (ou modèle d'utilité attendue) appliqué à un problème de gestion de terrain sectionnal. Comme nous l'avons présenté dans le modèle de Bueno de Mesquita, l'ensemble des acteurs parvient à une décision collective qui correspond à un consensus en suivant une méthode de résolution des conflits. Chaque acteur impliqué dans la décision collective défend une position politique relativement à ce problème, ceci avec une certaine force correspondant à l'importance qu'il accorde au problème (la salience) et avec un certain pouvoir relativement aux autres acteurs sur l'issue de la décision. Ce modèle est appliqué au problème de décision collective dans le cadre de la gestion paysagère d'un terrain sectionnal. Il s'agit de déterminer quel doit être la végétation du terrain considéré (les solutions proposées allant de pas de forêt à de la forêt embroussaillée).

Tout d'abord pour satisfaire l'hypothèse de linéarité de l'indice de décision (l'indice de décision doit pouvoir prendre des valeurs sur un segment de droite), nous choisissons comme indice de référence l'indice d'embroussaillage du terrain sectionnal. Ensuite en suivant les dire d'experts (GUIBERT, 1984), on détermine les acteurs concernés par le problème de gestion des sectionnaux, l'importance qu'ils accordent à ce problème, leur position politique initiale et les différentes utilités correspondant à l'énergie que peuvent retirer les différents acteurs des différentes issues de la décision collective. Ensuite, on détermine, toujours à dire d'experts, la matrice d'influence inter-acteurs.

Brièvement pour exposer la position des différents acteurs en présence, les chasseurs sont favorables à une conservation des broussailles en forêt pour la chasse aux sangliers, les fermiers sont plutôt favorables à une coupe de la forêt pour réaliser des lieux de passage entre leurs prés, pour leurs troupeaux, les bergers à une forêt sans broussailles pour aller faire pâturer leurs troupeaux. Enfin les acteurs institutionnels représentés défendent l'un la coupe du bois et l'autre son entretien.

Du point de vue du fonctionnement général de l'application, nous partons d'une page de paramètres initialisée à dire d'experts (figure) :

General parameters					
Nb agents	5				
Names					
Hunters	Farmers	Shepherd	SAFER	ONF	
30	0	0	10	10	E0
40	90	90	50	50	E+
-40	-10	-20	0	0	E-
Matrix of influence between agents pij					
0	0,4	0,5	0,3	0,4	
0,6	0	0,6	0,4	0,6	
0,5	0,4	0	0,3	0,3	
0,7	0,6	0,7	0	0,45	
0,6	0,4	0,7	0,55	0	
saliences(nb agents)					
0,8	0,6	0,65	0,55	0,7	
political position					
25	75	50	75	25	
political position					
25 forest+brushwood					
50 forest without brushwood					
75 no forest					

Figure 28 Fenêtre de paramétrage du modèle sous MS-Excel

A partir de laquelle nous initialisons le modèle, en créant une page par agent impliqué dans le processus de décision (ici, 5), nous initialisons leurs valeurs E0, E+ et E- ainsi que leur salience et leur position politique pour un problème donné. Lors de l'exécution de la simulation, les agents suivent à chaque étape trois phases, une phase *déclaration de conflit* dès lors qu'ils estiment qu'ils peuvent retirer du conflit une utilité supérieure à celle estimée de leur adversaire. Une phase *traitement des conflits* au cours de laquelle est appliqué l'arbre de résolution de conflit (figure), le programme détermine alors un graphe des conflits et un graphe de résolution de conflits(figure) avec une sémantique particulière sur les différents liens entre acteurs ; enfin, une phase *évolution des positions politiques*, et ce jusqu'à stabilisation générale du processus (obtention d'un consensus entre les acteurs), ici, malgré le paramétrage peut être maladroit du modèle, en prenant comme dimension de la décision, la quantité d'embroussaillage à conserver sur le terrain sectionnal considéré, la stabilisation est réalisée autour de la position politique 30 ce qui correspond à une forêt embroussaillée.

La sémantique associée au graphe de résolution de conflit permet de traduire les différents conflits qui peuvent exister. Les déclarations de conflit étant symbolisées par des flèches de l'agresseur vers l'agressé, la sémantique est donc très faible sur le premier graphe. Sur le second graphe, celui de résolution des conflits, on traduit les états correspondant à l'abandon face à une agression, l'échec d'une agression ou la réussite d'une agression. Etats que l'on retrouve dans le graphe de résolution des conflits de Bueno de Mesquita (figure).

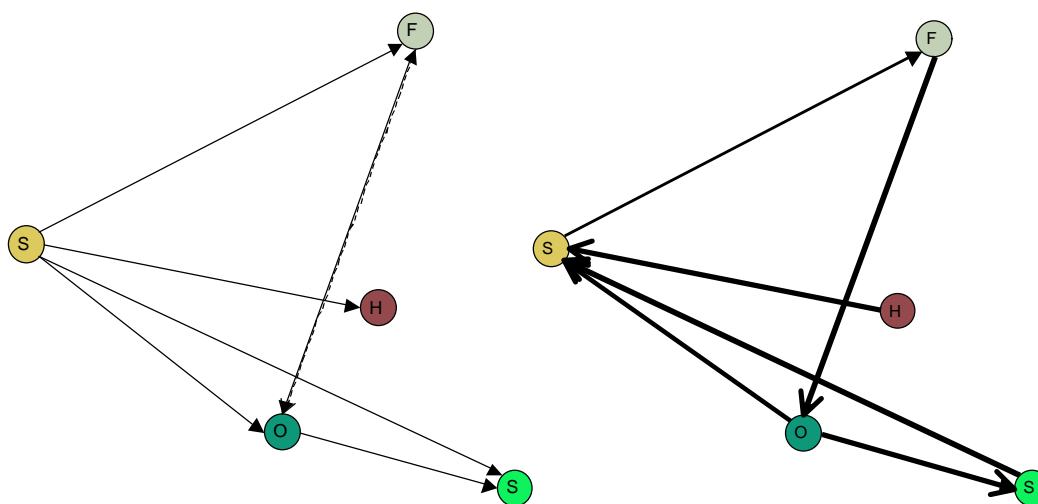


Figure 29 Graphes de déclaration et de résolution de conflits entre acteurs

Le résultat de la simulation fait apparaître, avec les paramètres qui sont exposés ici, un consensus autour d'une position. Nous discuterons plus loin de cette convergence, est-elle permanente, quel est le lien entre sa vitesse voire son existence et les paramètres du modèle ?

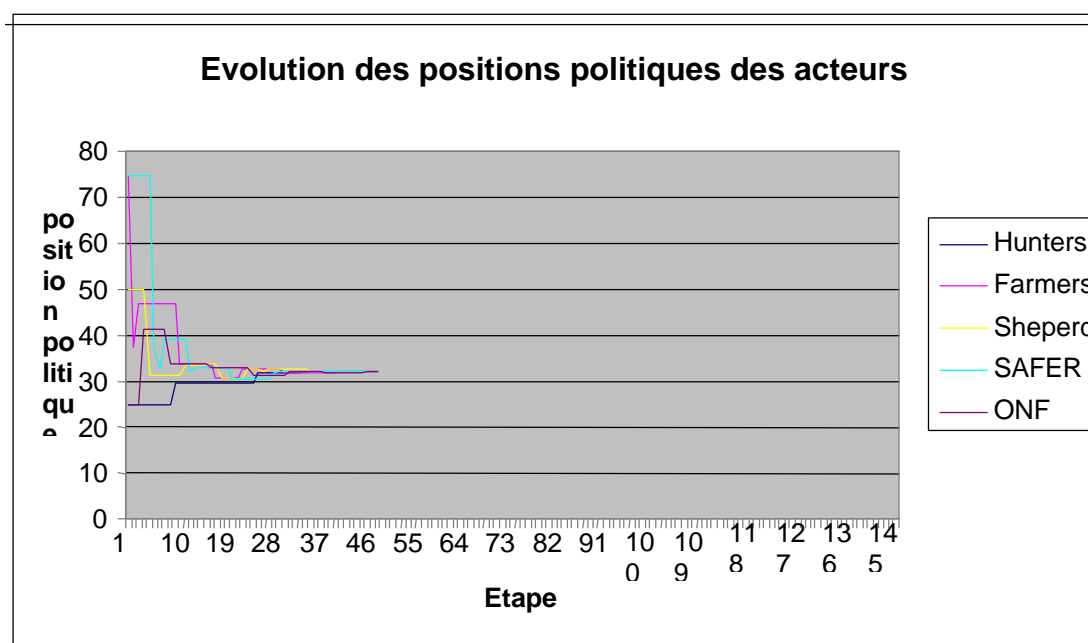


Figure 30 Evolution des positions politiques des acteurs

C.DISCUSSION

La phase de paramétrage du modèle, fait relativement bien apparaître le principal défaut du modèle, à savoir sa trop grande dépendance par rapport aux dires d'experts. En effet, les gains relatifs, la matrice d'influence inter-agents, la salience de chacun des acteurs ainsi que sa position politique doivent être déterminés à dire d'experts.

Est-ce que les agents convergent forcément vers un consensus ?

Evidemment, non. Il est tout à fait possible d'exhiber un certain nombre de cas pour lesquels, si on fixe une énergie E_0 élevée, chaque agent aura plus d'intérêt à ne rien changer plutôt qu'à entrer en conflit avec d'autres acteurs. Ainsi, on peut très bien avoir une stabilisation des positions politiques de chaque acteur, sans avoir de convergence vers une décision collective.

Il faut de plus noter que lorsque l'on parle de consensus ici, il ne s'agit pas de la représentation courante de consensus mou dont il s'agit, il s'agit en fait davantage d'une convergence vers une décision commune par la méthode de résolution de conflits, dans laquelle intervient la notion de pouvoir entre les acteurs.

Pour étudier la corrélation qui existe entre les différentes variables du modèle, l'équation du calcul de l'utilité attendue par un agent i pour son affrontement avec un agent j est essentielle :

$$E^i u^i \# x_{jd} = s_{jd} (p_{ij} \cdot [u^i \# x^+_{jd}] + (1 - p_{ij}) \cdot [u^i \# x^-_{jd}]) + (1 - s_{jd}) \cdot [u^i \# x^+_{jd}] - u^i \# x^0_{jd}$$

A priori cette équation représente la tendance qu'aura l'acteur i à affronter la position politique de l'acteur j . Ainsi nous déduisons bien l'influence des énergies E_0 , qui, comme nous l'avons souligné, interviennent comme des freins à l'évolution du processus. De même, il faut souligner que la grandeur composée de l'opposée de la salience multipliée par l'utilité positive intervient positivement dans l'utilité attendue, ainsi un acteur aura plus tendance à attaquer d'autres acteurs sur un problème sur lequel il est motivé et pour lequel il peut retirer une utilité importante.

Brève apologie d'Excel...

Le logiciel MS-Excel utilisé comme plate-forme multi-agent présente de très gros avantages :

- Une visualisation rapide des résultats du système multi-agent en cours de développement,
- Des outils statistiques puissants pour le contrôle et la visualisation du système.
- Une mise en œuvre intuitive et rapide
- Un potentiel important pour le nombre d'agents (65000 lignes * 255 colonnes sur 255 feuilles par défaut) modélisables en même temps
- La possibilité de travail distant et donc d'exécution de simulations en réparti
- Lien avec de nombreuses applications (MS-Access, ArcView) par l'intermédiaire du lien DDE

Et il ne présente à priori comme inconvénient que le fait que Visual Basic soit un langage de haut niveau certes mais procédural et non objet...

4. MODELE CORMAS

Nous allons présenter dans cette partie le modèle implémenté dans le cadre du projet Politiques Publiques et Paysages au Sud du Massif Central, modèle qui reprend d'une part la théorie des réseaux sociaux pour la dynamique relationnelle du modèle, et d'autre part le modèle d'échange de Stokman et Van Oosten pour la dynamique de décision collective. Le tout étant implémenté au sein d'un système multi-agent sous Cormas. Nous présenterons dans un premier temps la plate-forme Cormas, puis le modèle réalisé.

A. CORMAS

1. La Plate-forme

L'environnement de simulation Cormas (Figure 31) a été élaboré par l'unité de recherche Green du CIRAD pour permettre la programmation de systèmes multi-agents appliqués aux problèmes de gestion des ressources renouvelables, des modèles de théorie des jeux (dilemme du prisonnier itéré (AXELROD, 1992), externalité de voisinage (LIFRAN et coll., 1998)) ont également été implémenté sous Cormas. Il est conçu comme une couche supplémentaire au-dessus de l'environnement de programmation SmallTalk, *VisualWorks*. La conception de modèles sous CORMAS consiste en trois étapes principales :

- La définition des agents, de l'espace et des communications,
- La définition de l'initialisation et du contrôle de la simulation,
- La définition de l'observation de cette simulation.

Au cours de la première étape, on définit d'une part les agents, entités actives de la simulation et d'autre part les entités passives qui sont soit des objets de la simulation (qu'ils fassent partis de l'environnement ou non), soit des messages que peuvent s'échanger les entités communicantes de la simulation. Les agents sont définis à partir des classes, dont le nom est suffisamment explicite du type d'agent dont il s'agit, à savoir Agent, AgentSitué, AgentCommuniquant, AgentSituéCommuniquant.

La définition de l'espace, qui est facultative, correspond à la construction de l'automate cellulaire qui représente la dynamique spatiale du modèle, c'est à dire la définition des cellules et de leur dynamique. Cormas reprend en quelque sorte le « checkerboard model » de Sakoda présenté dans l'état de l'art, que l'on pourrait faire tourner en parallèle avec un automate cellulaire, qui représente la dynamique spatiale du modèle. Pour plusieurs modèles, la dynamique des cellules de l'automate cellulaire est définie sans prendre en compte les effets de voisinage très emblématiques des automates cellulaires, cela pourrait être le cas, par exemple, des cellules représentant une dynamique végétale en pleine savane, elles incrémentent au fur et à mesure leur indice de végétation jusqu'à ce qu'un agent brebis vienne à passer par-là... le changement de l'indice de végétation d'une cellule ne dépend pas de l'état des cellules voisines de celles-ci. Un modèle qui utilise davantage les propriétés de l'automate cellulaire est celui de la propagation d'un feu dans la savane, la règle locale d'une cellule étant : si la cellule est en arbre et qu'une cellule voisine est en feu, alors elle brûle, si elle est en feu alors elle passe en cendres... enfin et pour bien souligner que l'interface graphique est facultative, dans l'implémentation, sous Cormas de notre modèle de décision collective, nous ne l'utiliserons pas, nous lui préférons, comme nous le verrons dans la suite, une sortie et un traitement statistique des résultats sous MS-Excel.

En ce qui concerne la définition des communications il s'agit essentiellement pour l'utilisateur de définir les protocoles de communication entre ses agents (agents communicants forcement), puis les messages correspondant, il est possible ensuite de visualiser un graphe des communications entre acteurs semblable au paradigme GraphTracer fourni avec le JDK 1.2.

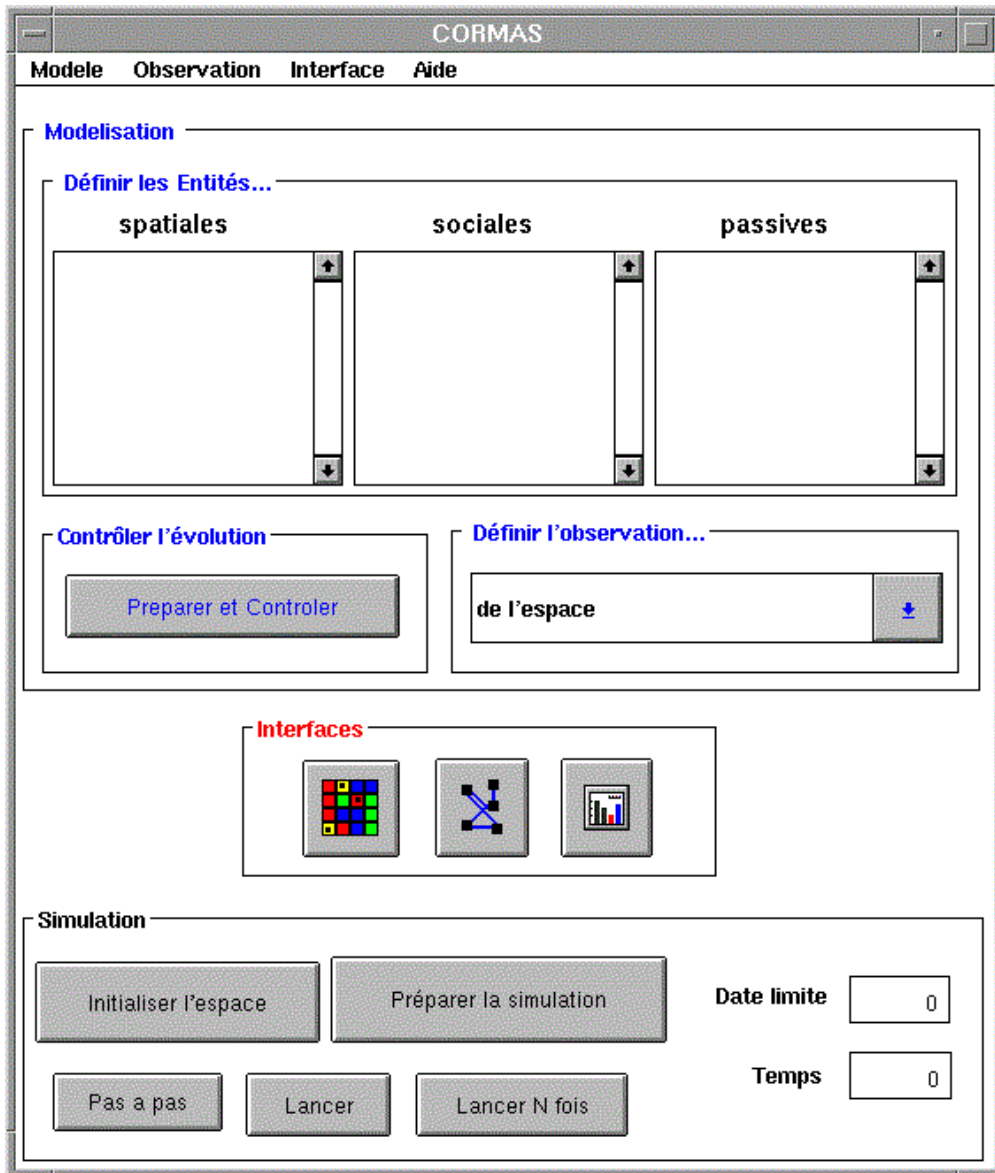


Figure 31 Interface CORMAS sous VisualWorks

Dans une deuxième étape, il faudra définir l'initialisation et l'évolution de la simulation. A l'initialisation, les différents agents et objets sont instanciés et leurs variables internes sont initialisées. Concernant l'évolution de la simulation cependant, il n'existe pas de scheduler d'agents pré-implémenté au sein de Cormas, il faut en fait implémenter une méthode qui correspond à un tour ou une période de la simulation. Ce qui peut être vu d'un point de vue négatif, puisqu'il n'est pas forcément facile de s'abstraire au niveau de la conception des agents en supposant acquit (du point de vue implémentation), le fait que les agents s'exécutent en parallèle comme cela peut être le cas sur d'autres plates-formes ou l'on peut faire abstraction du scheduler comme cela peut (au sens de «il est possible de) se faire sous Madkit. Le point de vue positif est que le programmeur peut retoucher et a tout contrôle sur le scheduler de la simulation (c'est aussi possible de réaliser ceci sous Madkit).

Enfin, il faudra définir l'observation de la simulation. D'une part si on a une interface graphique, il faudra déterminer les paramètres généraux de cet espace, la dimension de la grille (en nombre de cellules, le type de voisinage des cellules(4-connexe, 6-connexe, 8-connexe), si l'espace est toroïdale (espace fermé) ou non. D'autre part il faut déterminer combien de fois ou combien de temps va durer la simulation. Pour ceci, on détermine si l'exécution va être réalisée pas à pas

ou en continu, et, si la simulation est réalisée en continue combien de périodes vont être réalisées ce qui correspond au nombre de fois où la méthode d'évolution de la simulation sera appelée.

Il est à noter qu'il est tout à fait possible, si l'interface d'observation graphique ne convient pas à l'observation de phénomène du modèle, d'en réaliser une autre sous VisualWorks, ce peut être des courbes d'évolution de la démographie par exemple.

2. Les liens ODBC-DDE

Récemment ont été implémentés les liens entre ODBC (Open DataBase Connectivity) et Cormas et les liens DDE (Dynamic Data Exchange)-Cormas comme extension des liens ODBC Visual Works (Aragon) et DDE-Visual Works. Ce travail (LIEURAIN, 1999), s'inscrit dans un projet global d'interaction entre CORMAS et un Système d'Information Géographique en l'occurrence ArcView.

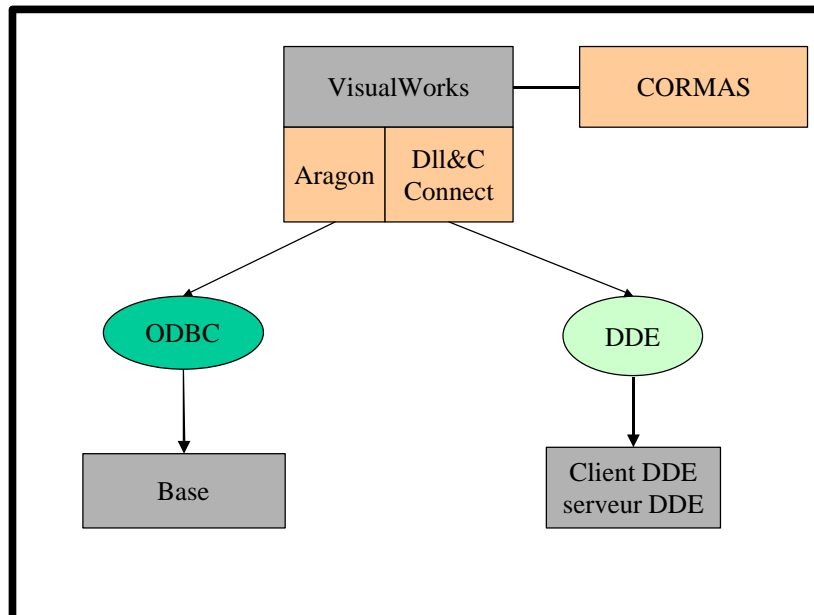


Figure 32 Fonctionnement général VisualWorks

Dans un premier temps, le lien entre ODBC et Cormas va nous permettre, dans le cadre de l'implémentation de notre modèle, d'initialiser notre modèle à partir d'une Base de donnée sous MS-Access. Il existe cependant un prérequis très contraignant, il nous faudra créer des objets particuliers recueillant les données des tables, objets qui devront avoir exactement la taille des tuples des tables (dans le cas d'une table à quatre champs, nous devons, pour récupérer les données de cette table, créer des objets intermédiaires qui seront dotés de quatre et seulement quatre attributs). Il n'est pas possible d'initialiser en une seule étape, directement les agents ou objets de la simulation à partir des données contenues dans les tables. De plus, l'ordre des champs de l'objet receveur doit être pris en compte et le lien ODBC ne permet pas de faire le lien entre deux objets) par la correspondance du nom des champs de la table et des attributs de l'objet.

D'autre part, le lien entre DDE et Cormas, va nous permettre, tout à la fois de réaliser le lien entre Cormas et Excel pour réaliser le traitement statistique des données en sortie, et de réaliser

un lien dynamique avec des logiciels de type Structure qui nous permettrons dans le cadre de notre modèle, de travailler sur des composantes structurelles extraites par un logiciel expert (extraction de cliques, détermination des centralités, etc...) à partir des données du modèle.

B. LE MODELE

Comme nous l'avons vu dans le modèle précédent, un défaut majeur des modèles de décision utilitaristes tels que ceux qui ont été présenté ici (modèle d'utilité attendue de Bueno de Mesquita ou modèle d'échange de Stokman et Van Oosten) est leur grande dépendance aux dires d'experts quant à l'initialisation. Il suffit, pour s'en rendre compte, de regarder à nouveau la Figure 28, qui représente dans le modèle réalisé sous MS-Excel, la feuille de paramétrage du modèle, et pour laquelle, les gains relatifs, la matrice d'influence inter-agents, la salience de chacun des acteurs ainsi que sa position politique doivent être déterminés à dire d'experts. De manière à obtenir des résultats davantage indépendants de ceux-ci, nous allons essayer de déterminer, par nous-mêmes, le maximum de variables du modèle possible, en utilisant, pour la détermination de ces variables, le modèle des réseaux sociaux. Ce modèle peut représenter une solution partielle au problème puisqu'il apporte des propositions pour la détermination d'un certain nombre de paramètres du modèle.

Ainsi, en se plaçant dans le cadre du réseau social à l'échelle duquel doit avoir lieu la décision collective étudiée sur un ensemble de problèmes, en l'occurrence la gestion des terrains sectionnaux d'une commune, nous ne pouvons pas appliquer le modèle en l'état, nous devons avoir recours à des entités sociologiques caractéristiques de la décision collective, c'est à dire, comme nous l'avons vu dans le premier modèle présenté, les cliques ou cercles sociaux du réseau social étudié. Chaque clique possède une décision unique et on peut ainsi étudier à l'aide du modèle de Bueno de Mesquita ou de celui de Stokman et Van Oosten, le processus de décision collective émergent d'une confrontation entre les cliques du réseau social. De plus, le structuralisme nous permet d'exprimer la notion de pouvoirs relatifs entre acteurs par les indicateurs structurels de centralité dans le réseau, la centralité absolue représentant un pouvoir de reconnaissance par le réseau social, un individu central recevant relativement plus d'approbation sociale que d'autres acteurs et la centralité d'intermédiation exprimant le pouvoir de l'individu par rapport au flux informationnel, l'acteur étant alors plus ou moins important pour la circulation de l'information dans le réseau social.

L'extraction des cliques à partir de la structure du réseau relationnel, peut être réalisée par des méthodes de blockmodeling, on essaie alors de partitionner le réseau, de classification croisée, on regroupe alors les individus les plus semblables relativement à des groupes de variables, on peut aussi utiliser les unités de décision, étudiées dans le cas de la prise de décision relative à une exploitation en Angleterre (FERREIRA, 1997). Cette dernière méthode regroupe les individus intéressés ou concernés par la gestion de l'exploitation, il peut rassembler la famille, les ouvriers agricoles, ... cette technique s'apparente aux travaux des sociologues sur les foyers ruraux (MENDRAS, 1974), l'unité de décision correspondant à un "feu" dans cette circonstance.

De plus, un processus de délégation existe au sein de la clique, la clique étant représentée "physiquement" par un ou des acteurs particuliers de la clique, en général l'acteur le plus central dans le sous-réseau particulier qu'est la clique, c'est le cas par exemple des pères de famille dans les cliques représentatives des familles ou des groupes domestiques. Le processus de délégation induit un processus de retour d'information sur les acteurs représentés par le délégué. Ce dernier les informant des décisions collectives réalisées au niveau du réseau politique.

Par la suite, dans ce réseau constitué des représentants de chaque clique, que l'on peut appeler alors réseau politique puisqu'il correspond à l'expression simplifiée de la structure dans laquelle a

lieu le phénomène de décision collective, on introduit les acteurs institutionnels, qui, bien que ne faisant pas parti forcément du réseau social local (à l'échelle d'une commune) ou du moins qui ne seront alors pas représenté au point de vue du réseau social local par des cliques particulières, font partie du jeu politique (au sens sociologique et de la théorie des jeux) et doivent donc être introduits dans le modèle de décision collective. De même que dans le cas des cliques, le phénomène de délégation peut exister (et n'existe pas forcément au contraire des processus de délégation dans les cliques) dès lors que l'acteur institutionnel est représenté par un acteur local inséré dans le réseau social (un habitant de la commune pouvant travailler à l'ONF par exemple).

Ainsi, nous pouvons déterminer, par la théorie des réseaux sociaux, un certain nombre de paramètres par nous-mêmes. Une deuxième phase consiste à recueillir les données qui ne peuvent être extraites de l'analyse des réseaux sociaux pour la paramétrisation du modèle, ces données seront obtenues par questionnaire auprès des acteurs constitutifs du réseau social. Il s'agit du réseau social local, de la salience que les acteurs accordent aux problèmes, aux positions politiques de chacun d'eux, et une estimation des utilités attendues par les acteurs.

Pour résumer, le modèle de décision collective que nous proposons (figure) peut être découpé en six étapes. A partir d'un réseau social brut déterminé par questionnaire sur une population donnée, on extrait dans un premier temps les cliques à l'aide d'un logiciel dédié à cette tâche (STRUCTURE ou STRAN), la méthode utilisée étant discutée par la suite. La détermination du réseau structuré correspondant à cette extraction est réalisée dynamiquement au cours de la simulation et non pas uniquement à l'initialisation du modèle. Dans un deuxième temps, nous déterminons, par application du processus dans chaque clique les représentants de chaque clique dans le réseau politique, à ces "acteurs politiques" nous adjoignons dans le réseau politique ainsi constitué les acteurs institutionnels correspondant aux institutions concernées par les problèmes sujets de la décision collective. Ensuite, on applique sur le réseau politique les modèles d'échange de Stokman et Van Oosten et d'utilité attendue de Bueno de Mesquita, de manière à obtenir une solution (décision collective commune ou consensus) au jeu politique exhibé par les transformations précédentes. On réalise par la suite, la diffusion de la décision collective dans les cliques et dans le réseau tout entier, de la même manière qu'une diffusion d'information classique, décision qui si elle ne correspond pas à l'attente des individus représentés, peut les amener à changer de représentant voire de clique, on a ainsi une évolution du réseau social qui introduit une dynamique structurelle dans le modèle. Les cliques vont évoluer, les représentants de ces cliques ne seront pas toujours les mêmes et ainsi la décision collective ne sera pas toujours la même non plus.

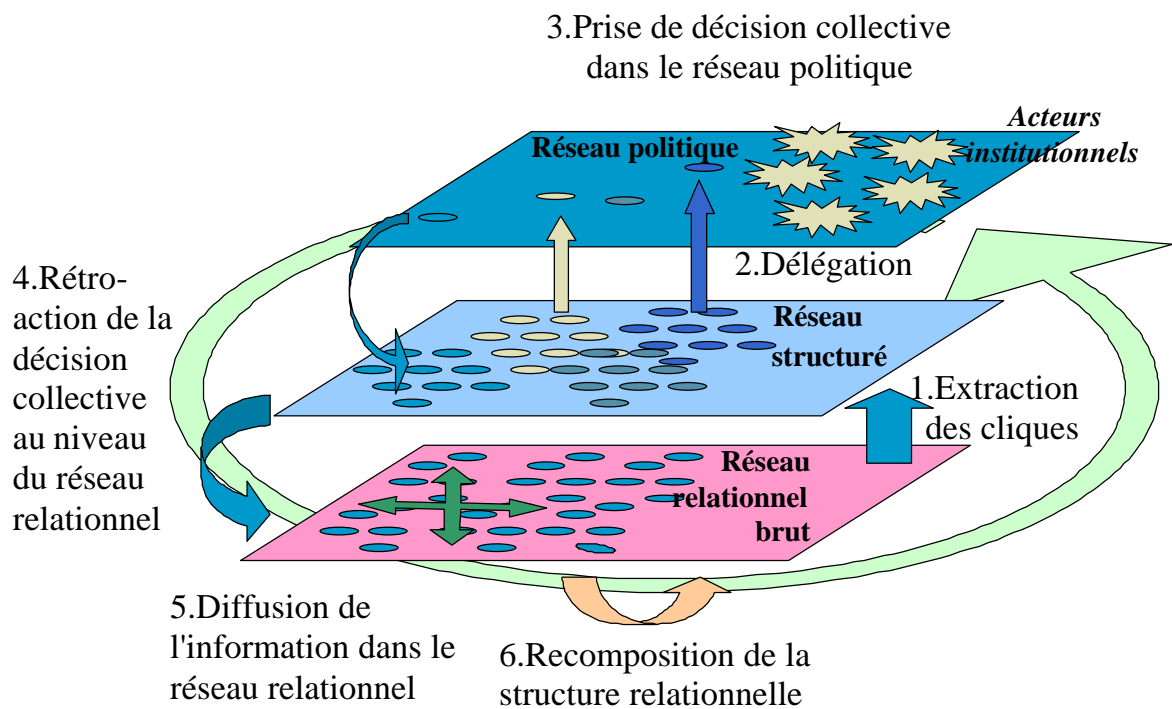


Figure 33 la dynamique du modèle

Une dynamique supplémentaire peut être introduite par les acteurs institutionnels introduits dans le réseau politique. On supposera dans un premier temps que les positions politiques susceptibles d'être adoptées par les institutions restent fixes au cours de la modélisation, on peut cependant intégrer dans un deuxième temps un module de test de politique institutionnelle en laissant paramétrable la position politique défendue par les institutions. On peut ainsi schématiser l'utilisation de l'ensemble du modèle (figure).

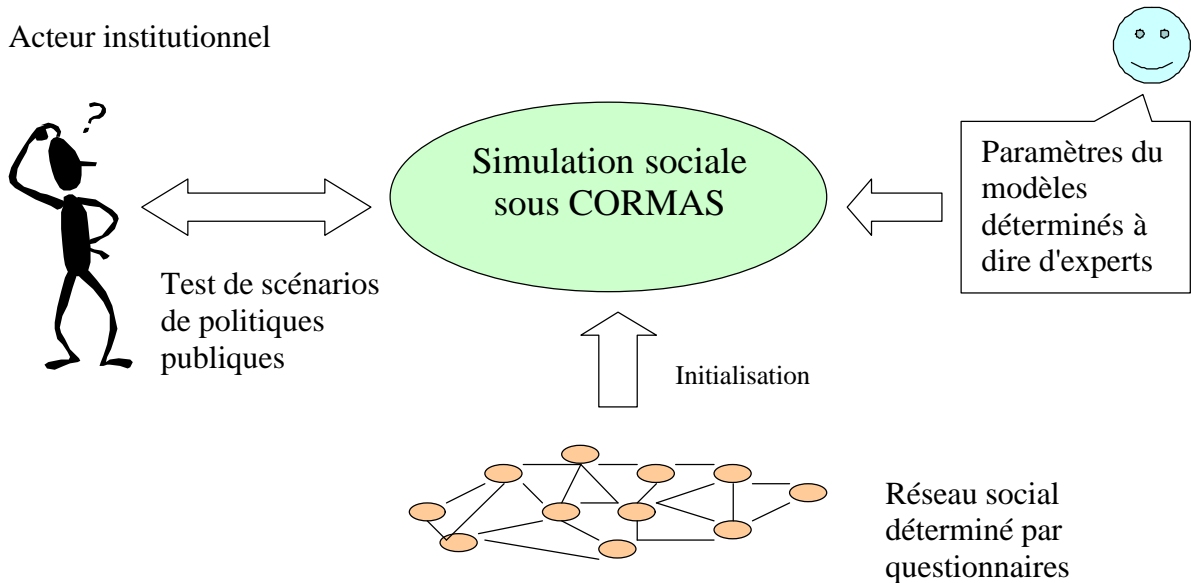


Figure 34 schémas d'utilisation de l'application

Quant au schéma général de l'application et sa communication avec les autres applications (Figure 35), on utilise assez fortement les liens ODBC et DDE avec CORMAS d'une part pour initialiser le modèle à partir d'une base de données sous MS-Access, d'autre part pour le traitement statistique des données en sortie sous MS-Excel, enfin pour l'extraction dynamique des cliques et le calcul des centralités à partir de la structure sociale on utilise DDE pour réaliser la communication entre le modèle et un logiciel dédié à l'extraction de connaissances liées aux structures sociales (STRUCTURE ou STRAN).

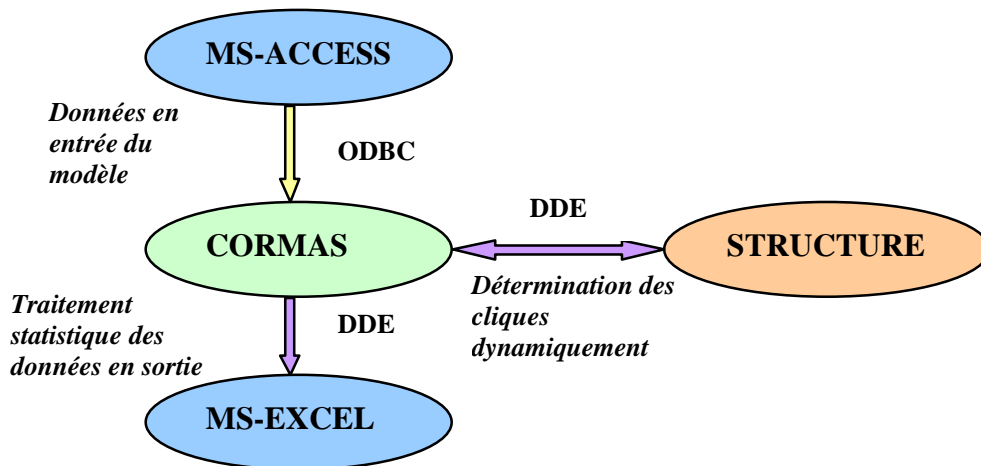


Figure 35 Modèle de l'application, communication entre logiciels

Malgré une conception relativement claire du modèle et de l'implémentation, un certain nombre de questions se posent alors quant à la réalisation effective du modèle.

Comment extraire les cliques ?

La technique d'extraction des cliques utilisée dans STRUCTURE comme dans STRAN est le blockmodelling (WASSERMAN and FAUST, 1994). En partant d'une matrice d'adjacence représentant les relations entre acteurs, on cherche à obtenir en permutant des colonnes entre

elles et les lignes correspondantes entre elles, une partition du réseau social. En fait, on ne cherche pas réellement les composantes complètes du réseau social bien qu'intuitivement cela soit assez proche de la réalité, on cherche à obtenir les groupes fortement reliés du réseau, qui bien que n'étant pas complets au sens de la théorie des graphes, ont une connectivité (ou densité de liens) au-delà d'un seuil de cohésion. Ainsi, du point de vue de la théorie des graphes, si ces sous-réseaux ne correspondent pas à des cliques (au sens de la théorie des graphes), elles en sont proches. On applique ainsi en général dans les techniques de blockmodeling des algorithmes de recherche de cliques classiques, bruités (DOREIAN, 1999).

D'autres techniques d'extraction étaient cependant possibles et sont aussi utilisées pour la détermination de sous-groupes ou de cercles sociaux dans les graphes de réseau sociaux. C'est le cas par exemple de la classification croisée (VAN METER, 1999), on détermine des groupes d'individus relativement homogènes en regard à certaines variables, cependant ces analyses sont menées sans lien avec le réseau relationnel et seulement en utilisant les attributs propres à chaque individu. C'est le cas aussi du travail précédemment cité de FERREIRA (FERREIRA, 1997) sur les unités de prise de décision.

La centralité est-elle expressive du phénomène de délégation ?

Un des challenges majeur de la théorie des réseaux sociaux est d'interpréter les indices structuraux ou les propriétés structurales afférentes à un réseau social donné. La centralité, indice structural typique de l'analyse des réseaux sociaux, ou plutôt les centralités puisque comme nous allons le voir il en existe plusieurs, sont classiquement liées à la notion de pouvoir (WASSERMAN and FAUST, 1994) ou de prestige. Les différents types de centralité portant davantage sur les différents types de pouvoir (sur l'information, d'un point de vue relationnel, ...). De plus, dans le cas particulier des réseaux politiques, David KNOKE (KNOKE, 1984) a étudié le lien qui pouvait effectivement exister entre centralité dans le réseau social et délégation ou représentation, il affirme alors, d'après enquête sur la ville de Chicago que les représentants politiques ou les délégués politiques sont des individus dont l'indice de centralité est élevé. Ainsi, on peut, dans le cadre de la modélisation de la décision collective, considérer les individus centraux comme étant les représentants d'une clique dans le réseau politique. Cette question, si elle n'est pas très significative du point de vue du processus de délégation puisque à priori n'importe quel membre d'une clique soutiendra la même position politique dans le réseau politique, donc chaque membre de la clique est susceptible d'être représentatif de celle-ci, en revanche, en ce qui concerne la propagation de la décision collective en retour, la vitesse de la propagation est fortement dépendante de l'indice de centralité du représentant de la clique l'information se répandant plus ou moins rapidement suivant que l'individu est central dans le réseau ou non.

Quelle centralité ?

Comme nous venons de le voir, plusieurs types de centralité coexistent, nous nous reporterons à (WASSERMAN et FAUST, 1994) pour leur calcul, nous évoquerons simplement ici, ces différents types, à quoi ils correspondent et lequel ou lesquels nous retiendrons pour la recherche de la représentativité dans le processus de délégation et pour déterminer les pouvoirs relatifs ou l'influence relative des acteurs du réseau politique. Ces centralités sont actuellement au nombre de quatre, il s'agit de :

- La centralité de degré qui correspond au nombre de relations d'un acteur donné, on peut l'interpréter en disant que plus un acteur est central, plus il est actif dans le système.
- La centralité de proximité au nombre minimum de "pas" qu'un acteur doit effectuer pour entrer en contact avec les autres acteurs du système. De ce point de vue, plus un acteur est central, plus il est proche des autres, plus il entre vite en contact ou interagit

facilement avec eux. On lui affecte parfois la valeur d'indice d'autonomie ou d'indépendance par rapport aux autres.

- La centralité d'intermédierité est basée sur l'idée de contrôle exercé par l'acteur sur les interactions entre deux autres acteurs. Lorsque deux acteurs ne sont pas adjacents, ils dépendent d'autres acteurs du groupe pour leurs échanges, en particulier des acteurs qui se trouvent sur le chemin entre eux et qui ont la capacité d'interrompre la circulation des ressources. Plus un acteur est central, passage obligé sur des chemins que d'autres doivent emprunter pour se rejoindre, plus il est central de ce point de vue.
- La centralité d'information s'intéresse à l'information contenue dans tous les chemins du réseau passant par un acteur donné, cette information étant représentée par la valuation des liens composant ces chemins de manière inversement proportionnelle à leur distance à l'acteur (plus une relation est loin de l'acteur moins elle est valorisée car elle est moins susceptible de lui apporter de l'information que les relations qui lui sont plus proches).

La centralité de degré n'est en réalité que très peu utilisée actuellement puisqu'elle ne représente réellement aucun concept particulier en terme de pouvoir ou de prestige. De même la centralité d'information est à prendre en compte dans des cas de diffusion d'information dans de larges réseaux. Enfin, la centralité d'intermédierité doit être prise en compte dans des processus relationnels de type stratégique (voir partie 2), ce qui n'est à priori pas le cas de notre modèle ici.

Nous prendrons donc en compte la centralité de proximité pour modéliser le phénomène de délégation en prenant ainsi pour paradigme, une situation assez proche des situations pré-électorales : "les élus sont proches de leurs électeurs"...

Quel modèle utiliser pour la résolution du jeu politique...

Nous avons déjà vu dans la partie précédente, l'implémentation du modèle de Bueno de Mesquita (BUENO DE MESQUITA, 1994) et nous avons exposé auparavant un autre modèle, le modèle d'échange de Stokman et Van Oosten, (STOKMAN et VAN OOSTEN, 1994). Ainsi pour la résolution d'un jeu politique ou chaque acteur politique est soit un représentant d'une clique ou un acteur institutionnel, on doit adopter un modèle de résolutions pour les conflits qui se posent. Le modèle va être choisi en fonction d'une différence fondamentale entre les deux modèles, le traitement simultané des problèmes comme c'est le cas dans (STOKMAN et VAN OOSTEN 1994) ou le traitement séquentiel de ceux-ci (BUENO DE MESQUITA, 1994). En effet, le fait d'avoir plusieurs problèmes à traiter en même temps (autant de problèmes que de sectionnaires sur la commune représentée) nous incite à choisir le modèle d'échange de Stokman et Van Oosten. De plus ce modèle apparaît comme étant un problème intéressant à implémenter sous la forme d'un système multi-agent comme nous le verrons dans la suite.

Le réseau politique est-il un réseau ou un jeu...

Ce que nous avons habilement déguisé sous le nom de réseau politique est en fait un jeu (au sens de la théorie des jeux). En effet, même si certains ont étudié les réseaux politiques suivant la méthode structurale (KNOKE, 1990), il n'est ici pas très important de prendre en compte des notions de structure, si ce n'est de manière indirecte en répercutant dans les attributs des acteurs du "réseau" politique les indices structurels correspondant au réseau relationnel. En matière de confrontation entre acteurs politiques, nous n'étudierons en effet pas les "formes du pouvoir". Et en matière d'indice structural, seul le pouvoir relatif entre acteurs politiques nous intéresse, pouvoir relatif qui sera déterminé en même temps que les différentes cliques par le logiciel dédié à

ce type d'analyse (STRUCTURE ou STRAN). Ainsi au niveau supérieur du modèle nous avons un ensemble d'acteurs qui vont négocier des positions politiques, le réseau relationnel de ces acteurs (si tant est que nous puissions appeler cela un réseau relationnel) correspond à une table d'accointances avec les acteurs avec lesquels un échange est possible sur un problème donné.

Réalisation du système multi-agent correspondant

Nous adopterons, pour la réalisation du système multi-agent correspondant à ce modèle, la méthodologie désignée au-dessus, à savoir :

- définition des agents, de l'espace et des communications,
- définition de l'initialisation et du contrôle de la simulation,
- définition de l'observation de cette simulation.

Définition des agents, de l'espace et des communications

Définition des agents

Nous avons quatre types d'agents différents :

- Les agents *acteurs politiques*, qui interviendront au niveau du "réseau politique", ils sont communicants et adoptent le modèle d'échange de Stokman et Van Oosten. A savoir qu'ils ont une position politique sur chacun des problèmes qui les concerne, ces problèmes sont ordonnés dans une liste suivant leur importance décroissante pour l'agent. L'agent possède un pouvoir relativement aux autres acteurs, pouvoir déterminé en termes de centralité lors de la phase d'extraction des cliques. L'agent va chercher à échanger "au meilleur prix" ses bulletins de vote pour ainsi dire. La solution finale étant le vote de tous les agents sur tous les problèmes et la décision finale correspondant au résultat du vote. Quelques contraintes sont à appliquer au système pour la viabilité du jeu politique, à savoir, qu'un agent ne prend qu'une seule position par problème et qu'il n'en négocie qu'une seule par problème, c'est à dire qu'une fois qu'il a négocié sa position de vote sur un problème donné, il s'engage à ne pas en changer. De plus, chacun des agents possède une liste des agents acteurs qu'il représente pour pouvoir diffuser la décision collective sur les différents problèmes. Ces agents sont en fait éphémères puisqu'ils sont déterminés lors de la phase de délégation et qu'ils disparaissent lors de la phase de diffusion pour être à nouveau déterminés lors de la phase de délégation suivante.
- Les agents *acteurs institutionnels*, qui, s'ils sont, dans un premier temps implémentés sous la forme d'agents politiques, serviront, par la suite à faire le lien avec les acteurs institutionnels (les vrais) de manière à tester des scénarios de politiques publiques possibles.
- Les agents *acteurs* se situent au niveau de la couche relationnelle, ils interviendront d'une part dans la phase de constitution des cliques comme entités passives puisque les cliques seront déterminées à partir de la matrice d'adjacence du réseau. Mais ils interviennent de façon active lors de la diffusion de l'information des décisions collectives, ils se contentent en fait de diffuser le message de décision collective à tous les acteurs qui appartiennent à leur table d'accointances. Ils interviennent beaucoup plus activement dans la phase relationnelle pour créer des relations et faire évoluer ainsi la structure relationnelle, en suivant les dynamiques et processus relationnels exhibés dans le modèle réalisé sous Madkit.

- Les agents *relation* qui participent à la dynamique relationnelle au niveau du réseau social comme expliqué précédemment dans le modèle implémenté sous Madkit, c'est à dire en proposant aux agents acteurs des relations potentiels avec d'autres acteurs, relations qui sont ainsi favorisées par la structure puisqu'elles viennent enrichir une liste de relations possibles de l'agent acteur.

En ce qui concerne les objets statiques du modèle, on crée un seul type d'objet, l'objet *problème*, qui correspond ainsi, en suivant la philosophie de Cormas à une ressource du système multi-agent. Il possède un seul attribut représentant le résultat du vote précédent sur ce problème en particulier. Ainsi on a une population d'objets statiques, les problèmes qui peuvent changer d'états après chaque négociation du réseau politique.

Enfin en ce qui concerne le protocole de communication des agents acteurs politiques (figure), il correspond à un protocole de négociation entre agents. Pour ce faire, un agent *acteur politique*, va envoyer à tous les agents, l'ensemble des échanges qu'il est possible de réaliser entre eux, de son point de vue. Dans une deuxième phase les propositions seront examinées, les agents élimineront celles qui ne sont pas viables au sens du modèle de Stokman et Van Oosten, c'est à dire celles pour lesquelles ils considèrent que les problèmes choisis ont le même ordre de priorité pour les deux agents. Puis ils examineront les propositions et ils choisiront la meilleure proposition par problème à échanger (de leur point de vue), en faisant ceci, ils s'engagent à adopter cette proposition si l'autre agent est d'accord. Enfin, les agents évaluent les retours de propositions et, de même, évaluent pour chaque problème le meilleur échange qui leur est proposé et l'adoptent à une seule condition... que leur identifiant soit inférieur à celui de l'agent qui propose l'échange... Quelle curieuse loi sociologique peut bien se cacher derrière un tel comportement ?

Les offres se croisent et... se ressemblent !

En fait, il se trouve que l'ensemble des échanges est à un instant donné les meilleurs qui puissent exister dans le système pour chaque couple de problème, mais... ils sont en double ! En effet, quand un agent A2 choisit la meilleure proposition sur un problème P2 donné qu'il veut échanger, puis qu'il l'envoie et qu'elle est à nouveau choisie par l'autre agent A1 comme étant l'échange optimal sur son problème d'échange P1, cet échange est le meilleur échange qui puisse exister pour les deux agents sur les problèmes P1, P2 et il est alors en double dans le système car il a aussi été obtenu par l'agent A2 quand l'agent A1 lui a proposé ce même échange qui fait partie des meilleurs pour A1 et qui sera choisit par A2 puisque, de même, il fait partie des meilleurs échanges pour A2... il faut donc qu'une des annonces soit désactivée.

Petit paragraphe à l'usage des négociants en problèmes...

Lors de l'énoncé du protocole de communication, on a utilisé comme critère important pour parvenir à une réalisation des échanges dans le système, qu'une proposition pouvait être meilleure qu'une autre, qu'en est-il vraiment ? En fait la notion de salience ou d'importance d'un problème, exposée lorsque nous avons discuté du modèle de Stokman et Van Oosten entre en jeu ici. A chaque problème, un agent accorde une valeur qui correspond à l'importance qu'il accorde au problème en question. On peut alors quantifier un échange par la différence de salience qui existe entre les deux problèmes de l'échange pour un agent. Cette différence est d'autant plus grande que les deux problèmes sont éloignés du point de vue de leur salience. Par ailleurs, le fait que les acteurs réalisent à chaque fois le meilleur échange est une hypothèse qui ne figure pas dans le modèle de Stokman et Van Oosten, ils introduisent la notion de misperception des échanges (ou plutôt de certains échanges, puisque les premiers

échanges ne souffrent pas a priori de misperceptions cf. 1.C.2.1), là où, nous travaillons avec des agents parfaitement rationnels.

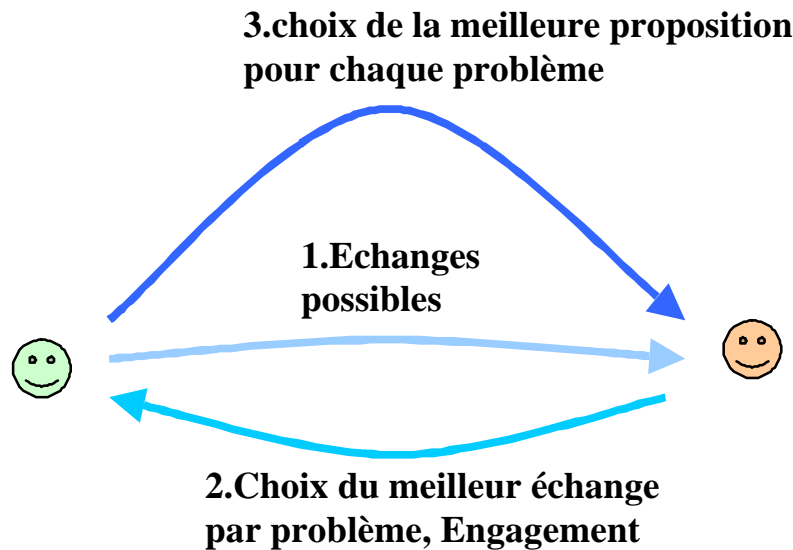


Figure 36 : protocole de communication entre agents

L'espace de la simulation, quant à lui, ne correspond à rien puisqu'il n'est pas défini d'espace pour cette simulation sous Cormas. Simplement, l'ensemble des données est envoyé à MS-Excel par un lien DDE pour un traitement en parallèle de l'exécution du modèle. Le gros avantage que présente cette solution est bien sûr la multitude d'outils de traitement des données disponibles sous MS-Excel.

Définition de l'initialisation et du contrôle de la simulation.

L'initialisation est réalisée par l'intermédiaire d'une base de données sous MS-Access en utilisant le lien ODBC qui existe entre MS-Access et Cormas. Pour la récupération de ces données, on doit prévoir des objets particuliers qui doivent avoir exactement la forme des tuples de la table que l'on veut récupérer. Si l'on veut récupérer les données inscrites dans une table qui comporte quatre champs, on devra alors créer un objet réceptacle de cette table qui comprendra quatre attributs. L'ordre des attributs par rapport aux champs de la table est aussi à respecter.

En ce qui concerne le contrôle de la simulation, le scheduler qui réalise la simulation suit les six étapes énoncées lors de l'exposition du modèle. Ces six phases correspondent à un pas de temps et le nombre de pas de temps de la simulation sera réglé à partir de l'interface principale du modèle. Une phase qui mérite peut être d'être davantage explicitée est la phase de négociation, les agents vont être schedulés dans un ordre indifférent en trois étapes, une étape de proposition au cours de laquelle tous les agents envoient des propositions d'échange, une étape d'évaluation et de réponse aux propositions et enfin une étape de choix de la proposition la plus attractive.

Définition de l'observation de la simulation.

L'observation de la simulation, est, quant à elle, réalisée sous MS-Excel, par l'envoi au fur et à mesure de la simulation de données, qui sont traitées en parallèle à celle-ci par l'exploitation du lien DDE-Cormas. On obtient ainsi des courbes d'évolution de la décision collective sur les différents problèmes et d'autres indices comme l'évolution du nombre de cliques dans le temps ou la répartition de l'opinion de la population en fonction d'attributs exogènes aux individus.

C.DISCUSSION

Le problème des données non disponibles pour le premier modèle présenté, devrait être résolu pour ce modèle qui devrait trouver une application et peut être sa validation dans la collecte de données organisée dans le cadre du projet Politiques Publiques et dynamique paysagère au Sud du Massif Central. L'utilisation de Cormas pour l'implémentation de ce modèle, était justifiée par le couplage, dans un deuxième temps, de la dynamique paysagère avec le modèle de dynamique sociale proposé, pour une prospective du paysage.

Une question relativement intéressante de poser dans le cadre de ce modèle est : qu'est-ce que la distribution de ce modèle, qui était à l'origine implémenté en mode centralisé, a apporté au modèle ? En fait la vision multi-agent du modèle de Stokman et Van Oosten, apporte un éclairage nouveau de leur théorie, elle permet une meilleure compréhension des processus d'interaction entre acteurs et permet leur décomposition et leur observation. De plus, on a pu, en choisissant un protocole de communication approprié entre les agents «acteurs politiques », se placer dans les conditions de la rationalité parfaite là où Stokman et Van Oosten introduisait une misperception des échanges. En effet, dans leur modèle, Stokman et Van Oosten prenaient pour hypothèse que les échanges étaient estimés par les agents dans des conditions α , puis calculés tous en même temps puis triés par ordre d'utilité décroissante puis exécutés les uns à la suite des autres. Ce faisant les échanges n'étaient pas exécutés dans les mêmes conditions que celles dans lesquelles ils avaient été estimés par les agents. Problème redoutable puisque cette misperception va grandissant au fur et à mesure que les échanges s'exécutent et que le premier échange exécuté l'est dans les conditions dans lesquelles il a été estimé par les agents. Nous nous permettons alors, d'émettre un doute sur la théorie de la misperception de Stokman, qui permet aux agents d'estimer parfaitement les échanges les plus importants (en terme d'utilité) et d'en mésestimer au plus haut point les moindres. En matière de simulation sociale, il est très discutable d'étudier des phénomènes émergents à partir de règles locales qui, même si elles donnent de bons résultats, ne sont pas consistantes avec une théorie de l'homme (objet modélisé par Stokman et Van Oosten).

Quoiqu'il en soit, le protocole de communication présenté ici, permet de placer les agents dans des conditions de rationalité parfaite. De plus, les échanges réalisés sont les échanges d'utilité maximale. En effet, pour donner une idée de ceci, prenons deux agents A1 et A2, dans le protocole de communication A1 envoie le champ de ses possibles à A2 qui sélectionne les meilleures propositions pour lui et les retourne à A1 qui lui aussi sélectionne les meilleures propositions pour lui. Il est évident que les échanges exécutés, même s'ils ne le sont que petit à petit (le risque de blocage entre échanges étant plus grand), sont les meilleurs échanges pour chacun des deux acteurs.

5. DISCUSSION

COMPARAISON DES TROIS PLATE-FORMES MADKIT, MS-EXCEL, CORMAS

En matière de comparaison de ces trois plates-formes, nous allons dresser un tableau comparatif des potentialités de chacune.

	Madkit	Cormas	MS-Excel
Utilisation de données distantes	Oui (par Madkit)	Oui (possible par ODBC ou DDE)	Oui (par DDE ou ODBC)
Exécution distribuée	Oui	Non	Non
Fonctionnement en Applet	Oui	Non	Non
Scheduler	Pseudo-Parallèle (Thread Java)	Séquentiel	Séquentiel
Langage de programmation	Java	SmallTalk	Visual Basic
Nombre d'agents	Elevé (si on change de scheduler) Faible si on utilise les threads Java (<100)	100	? (a priori assez élevé >100)
Modèles d'agents disponibles	Agents logiciels, Agents réactifs, Agents cognitifs	Agents réactifs, Agents cognitifs	-
DDE	Non	Oui	Oui
ODBC	(ODBC-JDBC) ?	Oui	Oui
SIG	Non	Oui	Oui
Outils Stats	Non	Oui (par DDE)	Oui
Outils structure	Non	Oui DDE	Oui DDE
Logiciels fonctionnant avec la plate-forme	Navigateur, Wex	ArcView, MS-Access, MS-Excel	ArcView, MS...
Gratuit	Oui	Oui	Non

Ainsi on peut rapidement remarquer que Madkit est une plate-forme relativement tournée vers les aspects distribués, mais qu'il existe à l'heure actuelle, peu d'outils pouvant fonctionner en complément de la plate-forme. Cormas, était jusqu'à présent dans la même situation si ce n'est que la plate-forme ne gérait pas les aspects distribués, cependant, les liens entre Cormas et DDE et Cormas et ODBC ainsi que la nouvelle politique d'ObjectShare qui permet d'utiliser gratuitement la version 3.0 de Visual Works (environnement SmallTalk sur lequel est bâti Cormas), lui permettent aujourd'hui de fonctionner en gérant une grande panoplie d'outils (Excel, Access) . Quant à MS-Excel, en dehors de ses capacités assez importantes, le principal défaut est qu'il ne repose pas sur une technologie objet et que Visual Basic n'est pas un langage objet.

POURSUITE DE CE TRAVAIL

De plus, cette étude devrait déboucher sur une thèse pluridisciplinaire (Informatique, modélisation, sociologie, sciences de gestion) sur l'analyse et la prospective des décisions au sein des réseaux d'acteurs de l'agri-environnement et l'analyse des réseaux sociaux et la modélisation multi-agents de la décision multi-acteurs.

PROBLEMATIQUE

Dans cette thèse, nous proposons d'étudier les processus de décision relatifs à l'agri-environnement, avec une approche couplée des décisions stratégiques individuelles et de leurs déterminants sociaux, considérés selon l'approche structurelle dite des « réseaux sociaux ». Nous nous focalisons ici davantage sur ce dernier aspect, dans la mesure où, d'une part, la décision stratégique individuelle est un domaine déjà très exploré, et, d'autre part, les perspectives politiques font présager un renforcement des approches collectives de la gestion des territoires.

Nous nous intéresserons donc à la structure des relations et interactions existant entre les acteurs, à sa dynamique en fonction d'évolutions du contexte, et à ses effets sur la décision. Ainsi, par exemple, nous pourrions considérer la variabilité des résultats obtenus selon que nous avons recouru à une approche essentiellement technique avec interventions localisées (individuelles) de conseillers agricoles ou à une approche plutôt collective, par constitution de groupe d'initiative locale, avec une démarche de construction ascendante, élargie éventuellement aux tiers. Cette question générale a déjà été largement abordée par la sociologie rurale, depuis Mendras jusqu'aux travaux plus récents du groupe GERDAL, mais sans procéder systématiquement à une approche comparative, fondée sur l'outillage méthodologique de l'analyse de réseau, et mettant en regard des indicateurs structurels avec des « indicateurs de résultat » en terme de « production d'aménités ».

Cependant, eut égard au coût et à la complexité de telles études, nous n'envisageons pas non plus d'en conduire ; elles supposeraient en effet la mise en place d'une démarche sociologique très lourde, pour laquelle le Cemagref n'est pas compétent, et que nous ne jugeons pas nécessaire ici. En effet, nous faisons l'hypothèse que la question nous intéressant peut être abordée de façon intermédiaire, par quelques études sociologiques indicatrices de propriétés locales, et surtout par la construction de modèles articulant processus sociaux et production de l'espace, avec un calage mixte qualitatif (études réseaux intermédiaires) et quantitatif (données socio-structurelles périphériques : structures familiales, syndicalisme agricole, clubs sportifs, formes d'habitat, etc.) Ce type de modèle peut s'appuyer sur les outillages multi-agents déjà disponibles, et sur le domaine de la simulation sociale, de plus en plus exploré par les communautés de recherche. Nous proposons ainsi l'économie d'analyses de réseaux globaux, de toute façon bien souvent irréalisables ; nous nous appuyons sur l'analyse de réseaux personnels, avec une approche intermédiaire, fondée sur des échantillonnages « boule de neige » locaux. Et nous extrapolons ces études sur des populations élargies, à partir de données socio-structurelles générales. L'ensemble de cette démarche nous renseigne sur la structure des réseaux, et alimente la construction des modèles.

En complément, il est nécessaire d'étudier la (les) décision(s). La question posée ici est relative au poids respectif des déterminants individuels (notion d'utilité d'une décision), et des influences sociales. Nous proposons d'inscrire cette recherche dans la lignée des travaux du groupe RUG-ICS de Groningen (STOKMAN et DOREIAN, 1997), (BAARDA, 1996). Ceux-ci fondent leur description de la décision collective sur trois paramètres : l'importance (« salience ») qu'un acteur donne à une question, le résultat attendu relativement à cette question (« position politique »), et enfin le pouvoir d'un acteur. De façon très formelle, ils ont proposé d'étudier différents processus de décision collective comme des lois de transformation des paramètres descriptifs précédemment cités, et en intégrant la structure sociale analysée par ailleurs. Ces travaux ont donné lieu à différents résultats très démonstratifs, avec en particulier une prédiction avérée et contrôlée⁴ de négociations sociales aux Pays-Bas.

Si les modèles RUG-ICS constituent un référentiel pour cette recherche, nous souhaitons formaliser dans cette thèse des hypothèses complémentaires faites dans le projet FAIR-IMAGES sur un modèle multi-critères à 2 niveaux. Dans ce modèle, un acteur évalue une décision conjointement par rapport à son système de valeur, de façon indépendante des effets attendus sur sa propre situation, et par appréciation de l'effet possible de cette décision. Ainsi, une Mesure Agri-Environnementale (MAE) est d'une part

⁴ Par huissier et avec dépôt un an avant des prévisions faites !

appréciée par un exploitant en tant que telle, puis évaluée par rapport à ses effets possibles sur l'exploitation. Les mécanismes d'influence sociale jouent à trois niveaux : sur la représentation de la mesure et l'évaluation «enn valeur », sur l'évaluation des effets possibles sur une exploitation, et enfin sur la correspondance de ces effets avec les objectifs de l'exploitant. Si, en terme de modèle, l'articulation est établie, elle n'est pas validée par des enquêtes adaptées. On ne sait pas comment ces trois mécanismes s'équilibrent dans la décision. Cette thèse devrait y contribuer à y répondre. En particulier, on suppose que chacune de ces évaluations partielles est influencée par un type de relation sociale spécifique (les «proches » interviennent sur les décisions «relatives aux valeurs », les «pairs » ou «experts » sur les décisions techniques, relatives aux effets). Ces questions devraient être précisées.

Disposant de cet ensemble d'hypothèses, on peut élaborer et implanter les modèles correspondants, sur une base multi-agents, et tester un ensemble de stratégies d'intervention à fondement structurel : par positionnement d'acteurs, mise en place de groupes de concertation, incitations aux approches collectives, etc. L'effet de mesures globalisantes à l'échelle d'un territoire peut aussi être abordé.

On notera en terme de problématique que, si elle est reconnue comme fondamentale, la spatialisation des processus concernés ne peut être abordée ici. L'espace sera intégré dans l'analyse comme une source d'interaction complémentaire (réseaux de voisinages).

En résumé, la question principale que nous souhaitons donc poser ici est :

Comment sont structurés les réseaux sociaux concernés par la décision en agri-environnement, et comment cette structure intervient sur la décision collective par le biais des processus différenciés d'influence sur les représentations et les évaluations des choix ? En retour, quelles modalités de définition et mise en œuvre des politiques peut-on envisager et quels pourraient être leurs effets ?

Quel modèle multi-agents en déduire, et quelle place pour ce modèle dans une démarche d'aide à la décision ? La problématique ainsi posée renvoie à la sociologie des réseaux, aux sciences de la décision, et à la modélisation.

METHODOLOGIE

La méthodologie proposée se décompose dans les phases suivantes :

1. Choix de cas de référence
2. Définition de la démarche d'enquête
3. Enquête générale orientée acteurs et politique locale
4. Enquêtes réseaux
5. Evaluation des indicateurs d'effet des politiques
6. Elaboration du modèle multi-agents
7. Extrapolation à partir de données générales socio-structurelles
8. Elaboration de scénarios avec un groupe pilote
9. Test de ces scénarios
10. Validation avec le groupe pilote

CONCLUSION

Le travail que nous avons mené ici, à savoir la réalisation de modèles multi-agents de la décision collective, même si le manque de données ne nous a pas encore permis de le valider, est particulièrement expressif d'une des grandes problématiques de la simulation multi-agents en particulier et de la simulation sociale en générale, à savoir : Comment faire le lien entre comportement local d'un agent et comportement global d'une société d'agents ? En conclusion de sa thèse, Alexis DROGOUL souligne que le lien entre agents réactifs et agents cognitifs est un des défis les plus importants à relever pour les chercheurs de l'Intelligence Artificielle Distribuée. Pouvoir comprendre et savoir inférer le lien qui existe entre le vivant et l'intelligent... Le défi est identique en simulation sociale, il s'agit d'inférer à partir de lois comportementales simples, la complexité des processus sociaux, de créer des fourmis-humains artificiels et d'observer quelles organisations ils sont capables de mettre en place et à partir de quelles lois comportementales ? Qu'est-ce qui chez l'homme fait qu'il s'organise en société ?

BIBLIOGRAPHIE

ALBIN, 1975 : ALBIN P. S., *The Analysis of Complex Socioeconomic Systems*.

AMBLARD, 1998 : AMBLARD F., "Modélisation multi-agent de réseaux sociaux", Rapport de stage de Maîtrise Informatique, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.

AMBLARD et FERRAND, 1998 : AMBLARD F., FERRAND N., "Modélisation multi-agent de réseaux sociaux, application à l'analyse de la décision de groupe en agriculture" dans : Actes du colloque SMAGET (Systèmes Multi-agents pour la Gestion de l'Environnement et du Territoire), FERRAND N. eds, à paraître.

AXELROD, 1992 : AXELROD R., *Donnant, donnant. Théorie du comportement coopératif*. Editions Odile Jacob, 1992.

BAARDA, 1996 : BAARDA C.P.F.M., 1996, "Collective Decision Making on Environmental Measures in the Dutch Farming sector", in 91st Annual Meeting of the American Sociological Association, New York.

BAJOS et coll., 1998 : BAJOS N., BOZON M., FERRAND A., GIAMI A., SPIRA A., 1998, *La sexualité aux temps du Sida*, Paris, Presses Universitaires de France.

BERNOUX, 1985 : *La sociologie des organisations*, BERNOUX P., Seuil, 1985.

BOUSQUET, 1994 : *Des milieux, des poissons, des hommes : étude par simulations multi-agents, le cas de la pêche dans le delta du Niger*, Thèse de l'Université Claude Bernard- Lyon 1. 1994.

BOUSQUET et coll., 1998 : BOUSQUET F., BAKHAM I., PROTON H., LE PAGE C., "CORMAS : common-pool resources and multi-agent systems", Conférence AIE-IAE, Spain, 1998, 12p..

BUENO DE MESQUITA, 1994 : BUENO DE MESQUITA B. (1994), " Political Forecasting :An Expected Utility Method. " pp.71-104 in : *European Community Decision Making Models, Applications, and Comparisons*. By BUENO DE MESQUITA B. and STOKMAN F.N. (eds), New Haven : Yale Univ Press.

BUENO DE MESQUITA and STOKMAN, 1994 : BUENO DE MESQUITA B. and STOKMAN F.N. (eds) (1994), *European Community Decision Making. Models, Applications, and Comparison*. New Haven : Yale Univ. Press.

BUENO DE MESQUITA and STOKMAN, 1994 : BUENO DE MESQUITA B. and STOKMAN F.N., "Models of Exchange and of Expected Utility Maximization : A Comparison of Accuracy" pp.214-228 in : *European Community Decision Making Models, Applications, and Comparisons*. By BUENO DE MESQUITA B. and STOKMAN F.N. (eds), New Haven : Yale Univ Press.

BURT ,1991 : BURT R.S., STRUCTURE 4.2, Center for the Social Sciences, New York, Columbia University.

CASTELFRANCHI et CONTE, 1992 : CASTELFRANCHI C. et CONTE R. , 1992 (April). Mind is not Enough: Precognitive Bases of Social Interaction. Pages 93-110 of:Proceedings of 1992 Symposium on Simulating Societies.

CHATTOE, GILBERT, 1998 : « *A Basic simulation of Information Diffusion* »

CHWE, M.S.Y., 1996, *Structure and Strategy in Collective Action : Communication and coordination in Social Networks*, Preliminary version, Department of Economics, University of Chicago, 67 P.

COHEN et LEVESQUE, 1988 : COHEN P.R., LEVESQUE H.J. « Intention is choice with commitment » in *Artificial Intelligence*, 1988.

COLEMAN, 1972 : COLEMAN J.S. (1972), " Systems of social exchange. " *Journal of Mathematical Sociology*, 2 ;145-163.

CONTE, Rosaria and Castelfranchi, Cristiano. 1992 (April). *Mind is not Enough: Precognitive Bases of Social Interaction*. Pages 93-110 of: *Proceedings of 1992 Symposium on Simulating Societies*.

CONTE et SICHMAN, 1995

CROZIER et FRIEDBERG, 1977 : *L'acteur et le système*, CROZIER M., FRIEDBERG E., Seuil, 1977.

DARRE et coll., 1994 : DARRE J.P., *Pairs et experts dans l'agriculture, dialogues et production de connaissances pour l'action*, 1994, Technologies/Idéologies/Pratiques Vol.XII N°1.

DEGENNE et FORSE, 1997 : DEGENNE A., FORSE M., 1997, *Les réseaux sociaux*, Paris, Armand Colin.

DIOT, 1996 : DIOT F., "L'adoption par les agriculteurs de la mesure agri-environnementale "Réduction des intrants" : raisons et conséquences dans le cas du Haut-Saintois (région Lorraine)", Mémoire de fin d'études, ENESA Dijon, 1996.

DORAN et al., 1990 : DORAN J., CARVAJAL H., CHOO Y.J. et LI Y., « The MCS Multi-agent testbed, Developments and experiments », in *Cooperating knowledge based systems*, Springer Verlag, 1990.

DORAN, 1997 : DORAN J., « Artificial societies and emerging hierarchies », JASSS 1997.

DORAN, PALMER et GILBERT, 1992 : DORAN J., PALMER M., et GILBERT N., *The EOS Project : Modelling Upper Palaeolithic Social Change*, Actes de Simulating Societies Symposium, University of Surrey, Guilford (Angleterre), pp31-47, 1992.

DOREIAN, 1999 : DOREIAN P., "An Intuitive Introduction to Blockmodeling with examples", *Bulletin de Méthodologie Sociologique* : n°61, pp 3-34.

DOREIAN and STOKMAN, 1997 : DOREIAN P. and STOKMAN F.N. (eds.) (1997), *Evolution of Social Networks*. Amsterdam etc. : Gordon and Breach.

DROGOUL, 1993 : DROGOUL A. *De la simulation multi-agents à la résolution collective de problèmes – Une étude de l'émergence de structures d'organisation dans les systèmes multi-agents* Thèse de doctorat de l'Université Paris VI, 1993.

DUPONT, 1992 : « Fondements théoriques de la négociation » DUPONT C. in *La négociation, son rôle, sa place dans l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement*. J.Ruegg, N.Mettan, L.Vodoz. Presses polytechniques et universitaires romandes.

EPSTEIN et AXTELL, 1996 : EPSTEIN M.J., AXTELL R., *Growing Artificial Societies, Social Science from the bottom up.* , MIT Press, 1996.

EUROPE, 1995 : *Regional Guidelines to Support Sustainable Landuse by EU Agri-Environmental Programmes (AEP). First annual report of the project partners for the period 01/10/94 to the 30/09/95.* Programme de recherche européen AIR CT94-1296.

FERBER et GUTKNECHT, 1997a : "Aalaadin : a meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems", FERBER J. & GUTKNECHT O., RR.LIRMM 97189, dec 97.

FERBER et GUTKNECHT, 1997b : "MadKit©: Organizing heterogeneity with groups in a platform for multiple multi-agent systems", GUTKNECHT O. & FERBER J., RR.LIRMM 97188, dec 97.

FERBER, 1995 : *Les systèmes Multi-agents, vers une intelligence collective*, FERBER J., Ed. InterEditions, juill. 1995.

FERRAND, 1993 : *Analyse des réseaux personnels*, FERRAND A., Université de Lille, 1993, à paraître.

FERRAND, 1996 : « De l'apport potentiel de la sociologie pour l'ingénierie des systèmes sociaux artificiels », FERRAND N., *Actes des journées de RocheBrune «du collectif au social* », Ecole Nationale Supérieure de Télécommunications, Paris, 1996.

FERRAND, 1997 : « Modèles multi-agents pour l'aide à la décision et la négociation en aménagement du territoire », FERRAND N., Thèse de Doctorat en Informatique, Grenoble, 1997.

FERREIRA, 1997 : FERREIRA G., 1997, *An Evolutionary Approach to Farming Decision Making on Extensive Rangelands*. Unpublished PhD Thesis, University of Edinburgh.

FISHER et URY, 1981 : FISHER R. et URY W., 1981. *Getting to Yes : negotiating agreements without giving in*. Boston: Houghton Mifflin.

FLACHE, 1996 : *The Double edge of Networks, an analysis of the effect of Informal Networks on Cooperation in social dilemmas*, Amsterdam, Thesis Publisher, 1996.

FREEMAN, 1992 : "The sociological concept of "group" : an empirical test of two models", *American Journal of Sociology*, 1992, Vol 98, 1, 152-166.

GERVET, 1987 : GERVET J. *Comportement*. Sous la direction d'I.Stengers. *D'une science à l'autre des concepts nomades*. Editions du Seuil, 1987.

GILBERT et CONTE, 1995 : GILBERT N. et CONTE R. (Eds.). 1995. *Artificial societies: The computer simulation of social life*. London: UCL Press.

GILBERT, 1997 :

GILBERT and TROITZSCH, 1999 : GILBERT N., TROITZSCH K.G., *Simulation for the social scientists*, Open University Press, 1999.

GRANOVETTER, 1973 : "The strength of weak ties", *American Journal of Sociology* 78 : 1360:1380.

GRANOVETTER, 1974 : 1974, GRANOVETTER M.S. «getting a job : a Study of Contacts and Careers », Cambridge, Harvard University Press.

GUIBERT, 1983 : GUIBERT H. (1983), " Conditions de mise en valeur des terrains sectionnaux en Margeride, Mezenc, Hauts plateaux ardéchois ", Mémoire de fin d'études, ENSA Montpellier.

GUTKNECHT, 1997 : "La plate-forme agent MadKit©: principes, architecture, implémentation», GUTKNECHT O., Transparents pour un cours de DEA – URL : <http://www.lirmm.fr/~gutkneco/aalaadin/>

GUTS et coll., 1997 : « Ethnic systems evolution, computer modelling » GUTS A.K., LANIN D.A., NIKITIN S.V., Omsk State University, 1997.

HANNOUN et SICHMAN, 1998 : HANNOUN M., SICHMAN J. et al., 1998 : "Dependence relations between roles in a multi-agent system, in Proc.MABS 98, TR-LIP6, Paris : LIP6.

HARDING, 1990 :

IMAGES, 1997 : Rapport d'étape du projet FAIR-IMAGES, <http://wwwlisc.clermont.cemagref.fr/ImagesProject>

KIRMAN, 1992 :

KNOKE, 1990 : KNOKE D., 1990, *Political Networks, The structural perspective*, Cambridge University Press.

KUHN, MULLER et MULLER, 1993 : KUHN N., MULLER J.P. et MULLER J., « Simulating Cooperative Transportation Companies », in *Modelling and Simulation : Proceedings of ESM'93*, Simulation Councils, pp.333-337, 1993.

LAZEGA, 1999 : LAZEGA E, 1999 "Réseaux sociaux et structures relationnelles", coll. Que sais-je ?, ed. Presses Universitaires de France.

LE PAGE et BOUSQUET, 1999 : LE PAGE C. et BOUSQUET F., *Transparents pour le cours de DEA Modélisation*, 1999.

LEPONT et VALLERON, 1993 : LE PONT F., VALLERON A.J., 1993, «modélisation événementielle de la dynamique de la transmission de l'infection à virus de l'immunodéficience humaine : un exemple pour l'épidémiologie animale », *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* N°12 p73-82.

LIEURAIN, 1999 : LIEURAIN E., *Intégration d'Arcview à Cormas*, rapport interne CIRAD-Green, 1999.

LIFRAN et coll. 1998 : LIFRAN R., BAKAM I., BOUSQUET F., LEPAGE C., « Externalités de voisinage, communication entre agents et Pareto-optimalité » in Actes du colloque SMAGET 1998, à paraître.

LIFRAN, 1999 : LIFRAN R., "Politiques Publiques et Dynamiques des Paysages au sud du Massif Central", Réponse à l'appel d'offre politiques publiques et paysages du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1999.

LINDENBERG, 1992 : LINDENBERG S., "The Method of Decreasing Abstraction" in *Rational Choice Theory, Advocacy and Critique*, COLEMAN J.S. and FARARO T.J. (eds), 1992.

LINDENBERG, 1995 : LINDENBERG S. "Complex Constraint Modeling (CCM) : A Bridge Between Rational Choice and Structuralism", *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, Vol.151, 1995.

LINDENBERG and FREY, 1993 : LINDENBERG S. and FREY B.S., "Alternatives, Frames, and Relative Prices : A Broader View of Rational Choice Theory", *Acta Sociologica* : 36 pp 191-205.

LINDENBERG, 1990 : LINDENBERG S. (1990), " Homo Socio-oeconomicus : The Emergence of a General Model of Man in the Social Sciences." *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)* 146 : 727-748.

LOMBORG, 1992 : LOMBOG B., « An evolution of Cooperation », Rapport Technique de l'Université de Aarhus- Institute of Political Science, 1992.

MENDRAS, 1976 : MENDRAS H., *Sociétés paysannes*, ed. Armand Colin, 1976.

MENDRAS et FORSE, 1991 : MENDRAS H. et FORSE M., *Le changement social : tendances et paradigmes*, ed.Armand Colin, 1991.

MERMET, 1990 : MERMET L., Intervention au colloque de Lille. Novembre 1990.

MINSKY, 1988 : MINSKY M., *La société de l'esprit*, Interéditions 1988.

MOSCOVICI et DOISE, 1992 : MOSCOVICI S. et DOISE W. *Dissensions consensus, une théorie générale des décisions collectives*, PUF 1992.

NEUMANN, 1966 :

NOWAK et LATANE, 1992 : NOWAK A. et LATANE B., *Simulating the emergence of social order from individual behaviour*, Actes de Simulating societies Symposium, Université de Surrey, Guildford (Angleterre), pp. 139-141, 1992.

ORMEL and all., 1997 : ORMEL J., LINDENBERG S., STEVERINK N. and VONKORFF M., 1997, "Quality of Life and Social Production functions : a framework for understanding health effects" *Social Science and Medicine*, : Vol.45, n°7, pp1051-1063, 1997.

RAO et GEORGEFF, 1992 : RAO A. et GEORGEFF M. « Social Plans : Preliminary report ». In *Decentralized AI 3 – Proc. Of MAAMAW'91*, E.Werner et C.Castelfranchi (Ed.), p.127-146, Elsevier North Holland.

ROGERS et KINCAID

SCHELLING 1960 : SCHELLING T., *The strategy of conflict*, Cambridge, Harvard University Press, 1960.

SFEZ, 1984 : SFEZ L., 1984, *La décision*, coll. Que Sais-je ?, éditions Presses Universitaires de France.

SFEZ, 1973 : SFEZ L., 1973, *Critique de la décision*, Paris, Presses de la Fondation nationale des Sciences politiques.

SICHMAN, 1995 : SICHMAN J., 1995, «du raisonnement social chez les agents. Une approche basée sur la théorie de la dépendance », Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

Jaime Simão Sichman (1998) DEPINT: Dependence-Based Coalition Formation in an Open Multi-Agent Scenario - *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 1, no. 2, <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/1/2/3.html>>

SIMON, 1955 : SIMON, H.A., A behavioral model of rational choice. *Quarterly Journal of Economics*, 69:99-118, 1955.

SNIJDERS et coll., 1994 : SNIJDERS T.A.B., LINDENBERG S.M., STOKMAN F.N., 1994, "An actor oriented statistical model for social network, friendship in organisations".

SNIJDERS, 1992 : SNIJDERS T.A.B., 1992, "Estimation on the basis of snowball samples: How to Weight ?", *Bulletin de Méthodologie Sociologique*, n°36, Septembre 1992, pp59-70.

SNIJDERS, 1996 : SNIJDERS T.A.B. (1996), "Stochastic actor-oriented models for network exchange", *Journal of Mathematical Sociology*, 21,149-172.

STOKMAN and BERVELING 1998 : STOKMAN F.N. et J.BERVELING *Predicting outcomes of decision-making* 1998.

STOKMAN, 1995 : STOKMAN F.N. (1995), " Modelling conflict and exchange in collective decision making ", *Bulletin de méthodologie sociologique (BMS)*, 49 :7-22.

STOKMAN and VAN OOSTEN, 1994 : STOKMAN F.N. and VAN OOSTEN R. (1994), " The Exchange of Voting Positions : An Object-Oriented Model of Policy Networks. " pp. 105-127 in : *European Community Decision Making. Models, Applications, and Comparisons*. By BUENO DE MESQUITA B. and STOKMAN F.N. (eds), NewHaven : Yale Univ. Press.

TROITZSCH, 1997 : TROITZSCH K. G. (1997). Social science simulation - Origins, prospects, purposes. In: *Simulating social phenomena*, eds. R. Conte, R. Hegselmann and P. Tierna, *Lecture Notes in Economics and Mathematical systems*, Springer, pp. 41-54.

TVERSKY et KAHNEMAN, 1981 : TVERSKY A. et KAHNEMAN D. *The framing of decisions and the psychology of choice*. *Science*, Vol.211, January 1981.

VAN METER, 1999 : VAN METER K., "Classification, Cross-Classification analysis and Generalized Blockmodeling" *Bulletin de Méthodologie Sociologique*, n°61, pp 35-51.

WASSERMAN and FAUST, 1994 : WASSERMAN S. and FAUST K. (1994). *Social Network Analysis : Methods and Applications*. New York and Cambridge : Cambridge University Press.

WOOLDRIDGE et JENNINGS, 1994 : WOOLDRIDGE M. et JENNINGS N.R., "Towards a theory of cooperative problem solving" in : *Pre-proceedings of the 6th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World*, ed. Y.Demazeau, J.P.Müller, J.Perram, pp. 15-26 - Odense, Denmark, August 1994.

ZEGGELINK, 1993 : ZEGGELINK E., *Strangers into friends. The evolution of friendship networks using an individual oriented modeling approach*, Amsterdam, Thesis Publisher, 1993.