

Un exemple paradigmatique la modélisation de la coopération

I.1.A. Des fourmis et des hommes

C'est par la fourmilière que les très estimables fourmis ont commencé, c'est probablement par elle qu'elles finiront, ce qui fait grandement honneur à leur constance et à leur esprit positif.

Notes d'un souterrain, Dostoïevski

Commençons par une expérience. Dans votre cuisine sortez votre balance et mettez-la sur la table. Mettez alors dans l'un des plateaux l'ensemble des êtres humains, et dans l'autre l'ensemble des fourmis terrestres. À quoi peut-on s'attendre ? La balance penchera du côté des fourmis. Cela signifie que la biomasse des fourmis est supérieure à celle de l'espèce humaine.

Toute personne qui a déjà vu les fourmis à l'œuvre, comprendra le succès évolutif de cette espèce. Elles font partie de l'ensemble des insectes sociaux dont les communautés sont les plus développées, et arrivent, par une coordination et une coopération sans faille, à exploiter de manière extrêmement efficace leur environnement.

Les fourmis légionnaires chassent en faisant des raids dans la forêt à plusieurs centaines de milliers d'individus, les fourmis tisserands cousent des feuilles pour construire leur nid, les coupeurs de feuilles cultivent au sein de leurs colonies un champignon spécial dont elles s'alimentent, et grand nombre d'espèces de fourmis pratiquent l'élevage d'insectes, tels que les pucerons ou les chenilles. Pourtant, les fourmis sont des êtres vivants très simples, aux capacités cognitives très limitées, pour autant qu'on puisse parler de capacités cognitives, et dont il est certain qu'aucune d'entre elles n'a de représentation globale, ni même partielle, de l'activité de la fourmilière. Ce décalage extrême entre simplicité individuelle et complexité des comportements collectifs a longtemps fasciné, et commence maintenant à être bien compris du point de vue scientifique. La fourmilière est en effet devenue l'un des exemples prototypique de *systèmes complexes* illustrant l'émergence d'une *intelligence collective* (Bonabeau & Théraulaz, 1994).

Un *système complexe* est défini comme un ensemble constitué d'un très grand nombre d'éléments interagissant entre eux, dont le comportement global ne se déduit pas directement

de la description des éléments pris individuellement. Ainsi, dans un système complexe, il apparaît au niveau global ou macroscopique, des propriétés dites *émergentes*, qui sont la conséquence des interactions massives.

Il est possible, par exemple, dans le cas des sociétés de fourmis, de rendre compte des comportements de recherche de nourriture par une approche système complexe. Comme chacun a pu le remarquer, les fourmis sont incroyablement efficaces pour trouver de nouvelles sources de nourriture et relier celles-ci à la fourmilière par le chemin le plus court. L'étude des fourmis révèle qu'après avoir découvert une source de nourriture, celles-ci reviennent au nid en déposant au sol une substance chimique et volatile appelée phéromone. Les fourmis sont sensibles à ces traces de phéromones, et sont capables de les suivre. Ainsi d'autres fourmis seront amenées à découvrir cette source de nourriture. Le comportement d'une fourmi n'est cependant pas déterministe au sens où celle-ci suivrait à coup sûr un trajet de phéromone. Avec une certaine probabilité, spécifique à l'espèce, une fourmi a des chances de se perdre, et d'effectuer ainsi une recherche aléatoire.

Ces trois traits comportementaux simples peuvent se modéliser afin de rendre compte du comportement de la fourmilière. Pour cela, il faut définir dans un espace virtuel un emplacement qui représente le nid des fourmis. On place à quelque distance de là des sources artificielles de nourriture. Puis on donne à l'ordinateur la description d'un agent artificiel sous la forme d'un ensemble constitué des trois règles que nous venons de mentionner :

1. un agent qui trouve une source de nourriture en prélève une partie et rentre au nid, en déposant des traces de phéromone artificielle sur son chemin,
2. un agent qui n'a pas de nourriture explore au hasard les alentours de la fourmilière,
3. un agent qui n'a pas de nourriture et rencontre une trace de phéromone, suit cette trace avec une probabilité $1-\varepsilon$, et poursuit une recherche aléatoire avec une probabilité ε .

On demande ensuite à l'ordinateur de faire évoluer un nombre N grand ($N=10\ 000$ par exemple) de tels agents et l'on observe ce qui se passe.

À partir de ce modèle, il est possible d'effectuer tout un ensemble d'expériences en faisant varier la taille des sources de nourriture, leurs emplacements, la taille de la colonie et la probabilité qu'a une fourmi de ne pas suivre une trace de phéromone. Durant ces

expériences, on relève les structures émergentes de ces systèmes d'agents et on mesure l'efficacité avec laquelle les fourmis artificielles exploitent les sources de nourriture. Ces expériences de vie artificielle montrent que l'organisation spatiale et temporelle des sociétés d'agents correspond assez bien à ce que l'on peut observer chez les fourmis. Ainsi, bien que les agents artificiels soient purement réactifs et sans aucune sorte de représentation, leur comportement collectif est efficace et structuré. C'est ce qu'on appelle une propriété émergente du système. Le même type d'approche a été utilisé avec succès pour rendre compte d'autres caractéristiques des sociétés de fourmis et plus généralement des sociétés d'insectes (organisation spatiale des fourmilières, émergence d'une hiérarchie sociale chez les guêpes, construction des termitières etc.).

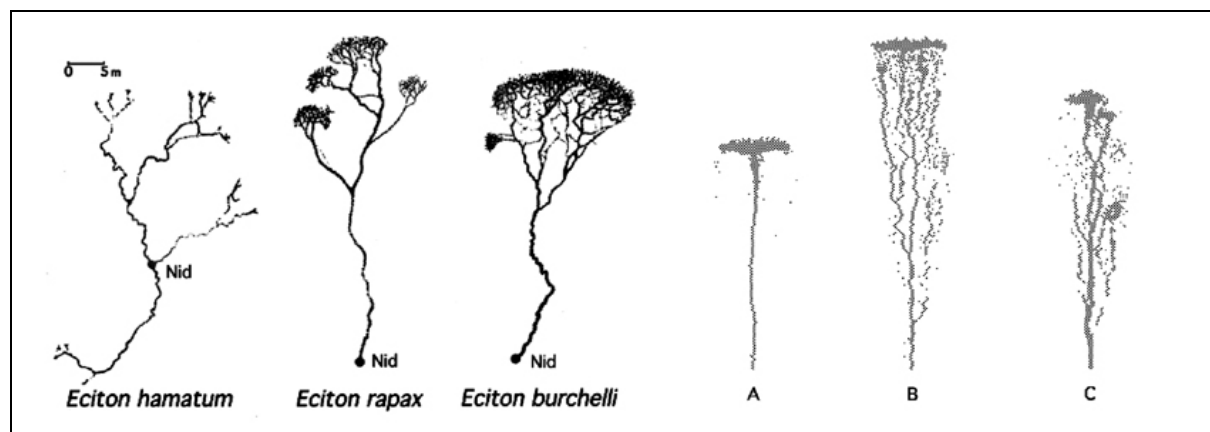


Figure 1 : Comparaison entre les structures émergentes engendrées par les comportements de chasse de trois espèces de fourmis légionnaires (à gauche), et les structures émergentes apparaissant dans les simulations des modèles mathématiques lorsque l'on fait varier les paramètres du modèle (source : Deneubourg et al. 1989)

Comprenons bien ce qu'apporte l'approche *systèmes complexes*. Dans l'exemple précédent, la modélisation du comportement de chasse des fourmis n'est en aucun cas une modélisation de la fourmi. Nous n'avons pas décrit comment une fourmi faisait pour se mouvoir, pour se nourrir, pour fabriquer la phéromone, et à vrai dire, nous n'avons pratiquement rien dit sur les fourmis. Modéliser le comportement de la fourmilière ne consiste donc pas à reproduire une fourmi dans le silicium. Nous en serions d'ailleurs tout à fait incapables, quand bien même nous ferions appel aux meilleurs spécialistes. Le but de ce type de modélisations est tout autre. Il consiste à rechercher les caractéristiques des fourmis qui suffiraient à expliquer l'émergence de certaines propriétés globales, avec pour objectif de reconstruire certains types de phénomènes émergeants, et de mesurer l'importance de certains facteurs individuels dans l'apparition de ces propriétés globales.

Par exemple, dans le cas de la modélisation des fourmilières, l'étude révèle l'importance des traces de phéromone déposées dans l'environnement pour la structuration de la fourmilière. Ce type de traces est appelé traces stigmergiques. Par ailleurs, fait moins intuitif, la probabilité qu'une fourmi a de se perdre est également un paramètre déterminant pour comprendre le comportement collectif. En retournant à l'observation de terrain, il est possible de montrer, en comparant différentes espèces de fourmis, qu'il est adapté à l'environnement dans lequel vivent les colonies. Intuitivement, si les fourmis ne se perdent jamais, une fois une source de nourriture trouvée, toute la colonie va s'y approvisionner et se retrouvera en rupture de stock une fois la source épuisée. En revanche, si les fourmis ne tenaient jamais compte des traces de phéromone, nous assisterions à une exploration désordonnée sur tout le territoire. L'information récoltée par une fourmi à propos d'une source de nourriture ne serait jamais transmise au reste de la collectivité.

Entre ces deux extrêmes, il y a un comportement optimal qui est tel que la fourmilière exploite les sources de nourriture découvertes, alors même qu'une petite partie des ouvrières explore le reste du territoire aléatoirement, permettant la découverte de nouvelles ressources. Le compromis optimal entre exploitation des sources de nourritures découvertes et exploration du territoire dépend des caractéristiques de l'environnement dans lequel se trouve la fourmilière. Si les sources de nourriture sont abondantes, la part de l'exploration pourra être réduite ; elles sont rares, elle devra être augmentée. Le compromis exploration/exploitation est donc un paramètre déterminant dans l'activité de recherche collective de nourriture. La sélection naturelle a progressivement amené les différentes espèces de fourmis à trouver un paramètre exploration/exploitation relativement proche de la valeur optimale associée à leur écosystème. Nous avons donc ici un exemple où une part d'aléatoire, de bruit au niveau individuel, se projette au niveau collectif en un compromis exploration/exploitation structurant pour la communauté.

I.1.B. Sociétés d'insectes, sociétés humaines

Une fois expliquées, en termes de systèmes complexes, certaines propriétés globales des comportements collectifs des fourmis, il est possible de rendre compte, dans le cadre du paradigme darwinien, des raisons qui ont permis une telle organisation. En effet, les sociétés d'insectes sociaux ont toujours une structure très particulière : un individu unique, la reine (un très petit nombre d'individus dans certains cas), est chargé de la procréation, alors que le reste de la communauté, des ouvrières stériles, est chargé de s'occuper de tout ce qui concerne la survie de la colonie (construction et protection du nid, recherche de nourriture, etc.). Ainsi, tous les membres d'une même fourmilière ont grosso modo 75 % de leur patrimoine génétique en commun. Ils sont donc des quasi-clones et la faible complexité de leurs organismes engendre des comportements stéréotypés leur permettant de se coordonner de manière extrêmement précise. Par ailleurs, la stérilité de certains individus n'est pas préjudiciable à leur reproduction du point de vue de leur génome, puisque l'individu qui leur a donné naissance engendre également des individus reproducteurs. L'hétérogénéité des rôles que nous pouvons observer au sein d'une fourmilière provient d'une différenciation qui s'effectue au cours de l'ontogenèse² et non d'une hétérogénéité génétique. Ces deux caractéristiques, homogénéité génétique et différenciation ontogénétique, sont les facteurs qui permettent aux insectes sociaux de former des supers-organismes qui témoignent de phénomènes de coordination à grande échelle (au sens d'accomplissement collectif d'une même tâche) et coopération à grande échelle (au sens d'efforts consacrés par certains individus au bénéfice d'autres individus).

Ceci étant, nous comprenons assez bien pourquoi ce système d'organisation est incompatible avec le mode de reproduction des mammifères. Ceux-ci ne donnent naissance qu'à quelques individus par an, alors que par exemple, chez certaines espèces de fourmis, une reine peut pondre jusqu'à 300 000 oeufs par jour. Une des conséquences est que les différentes espèces de mammifères présentent en leur sein une très grande diversité inter-individuelle, aussi bien phénotypique que génétique, même au sein de groupes sociaux bien définis ; et force est de constater que les phénomènes de coordination et de coopération impliquent rarement plus d'une dizaine d'individus, le plus souvent apparentés (Wilson 1975). Tout se passe comme si, en perdant en proximité génétique et en gagnant en individualité, les

² Ontogenèse = développement de l'individu au cours de sa vie

mammifères n'avaient plus à leur disposition les liens qui permettent aux insectes sociaux de réaliser des tâches collectives. L'origine du problème est simple si l'on se place dans un cadre darwinien. Il tient en un mot : tricheur. Dans le cadre d'interactions répétées, si une lignée d'individus ne coopère pas et profite des efforts fournis par les autres, celle-ci aura un avantage reproductif sur le reste de la population. Dans le cas d'interactions entre individus non apparentés, une population de tricheurs pourra alors envahir une population de coopérateurs, et, à plus ou moins long terme, la tendance à coopérer disparaîtra.

Il est cependant une espèce de mammifères, et une seule, qui présente des phénomènes de coordination et coopération à grande échelle : l'espèce humaine (Bourguin 2004). Ce qui soulève la question suivante : Pourquoi nous, et pourquoi que nous ?

Nous proposerons une réponse dans le cadre de notre approche : les phénomènes de coopération à grande échelle sont la projection au niveau collectif de la diversité des stratégies que les êtres humains peuvent envisager. Mais n'allons pas trop vite. Il nous faut tout d'abord poser ce que nous appelons coopération en tant que fait stylisé, ce qui fera l'objet de la prochaine section.

Retenons de cet exemple, qu'en se plaçant au niveau de description des comportements collectifs, la théorie des systèmes complexes s'inscrit naturellement parmi l'ensemble des approches pertinentes. Dans une telle approche, l'objectif n'est pas de décrire dans le détail les comportements des agents, mais de comprendre la relation qu'il peut y avoir entre les phénomènes émergents, *certaines* caractéristiques individuelles, et les aléas de l'environnement.

I.1.C. Une approche formelle des systèmes sociaux autour de l'émergence de la coopération

La modélisation est un outil, et les modalités de son utilisation ne peuvent s'analyser que par rapport à une pratique. Nous illustrerons donc notre propos en prenant pour champ d'application le problème de l'émergence et la stabilité de la coopération. Nous allons dans cette section expliquer ce que nous entendons par coopération en tant que fait stylisé. Cela nous permettra par la suite de travailler sur des exemples clairement identifiés, à travers lesquels nous nous familiariserons avec les concepts classiques de la modélisation.

La modélisation des phénomènes de coopération a tout d'abord été abordée en 1964 par Hamilton, à propos de population d'individus apparentés, puis quelques années plus tard par Trivers (1971), qui a posé la question des phénomènes coopératifs dans une logique d'interactions répétées (*reciprocal altruism*). Cependant, comme le reconnaissent ces auteurs, une sophistication de ces approches est nécessaire pour expliquer la coopération entre individus non apparentés. Le sujet de l'émergence et de la stabilité de la coopération a connu par la suite un engouement variable, et a été remis au goût du jour dans les années 1980 par les travaux de Robert Axelrod (1984) avec cette question : sous quelles conditions la coopération peut-elle émerger dans un monde égoïste dépourvu d'autorité centrale ? C'est, depuis, devenu un sujet de recherche transdisciplinaire extrêmement dynamique, qui couvre des domaines aussi variés que la théorie des automates, la théorie des jeux, la biologie théorique, l'économie, les sciences politiques, la sociologie, la psychologie et l'anthropologie.

Dans le cas d'une approche formelle, la coopération est abordée sous la forme d'une situation stylisée, qui se représente sous forme de jeu. Plusieurs types de jeux ont été proposés pour modéliser les phénomènes de coopération, ceux-ci étant regroupés sous la catégorie des *dilemmes sociaux*. Le dilemme du prisonnier est le plus connu, et nous le prendrons comme exemple paradigmatique. Mentionnons toutefois d'autres types de jeux, très étudiés dans le cadre de l'économie expérimentale, dont nous évoquerons parfois les apports : la provision de biens publics ou de ressources communes (Dal Forno et Merlone 2004*, Ostrom et al. 1994, Sonnemans et al. 1999*), le jeu de l'ultimatum (Henrich et al. 2001*), ou le jeu de l'investissement (Cochard et al. 2004*, Fehr & Fischbacher 2003*).

I.1.C.a Modéliser la coopération

i. Le dilemme du prisonnier

Un vol vient d'être commis. La police soupçonne deux individus A et B. Ils sont séparés sans aucun moyen de communiquer et sont mis par les autorités devant le dilemme suivant : ils peuvent choisir de dénoncer l'autre (D) ou de rester muet (C). S'ils se dénoncent mutuellement, chacun écopera de quatre mois de prison. S'ils choisissent de se taire, chacun en prendra pour deux mois. Par contre, si l'un parle et que l'autre reste muet, ce dernier, considéré comme coupable, sera emprisonné cinq mois, tandis que le bavard sera relâché.

Cette situation apparemment simple est en fait un des plus célèbres paradoxes de la rationalité. Supposons en effet que *A* et *B* aient pour but de passer le moins de temps possible en prison, quels qu'en soient les moyens. Un rapide examen de la situation leur indiquera que, quelle que soit l'action de leur complice, ils sortiront plus vite de prison en parlant. En effet, si leur complice ne les dénonce pas, ils seront libérés au lieu de rester deux mois en prison ; si leur complice parle, ils ne resteront que quatre mois au lieu de cinq. En suivant ce raisonnement, tous deux parleront, et par conséquent, ils resteront, en définitive, quatre mois en prison, alors qu'ils n'auraient pu en faire que deux s'ils avaient tenu leur langue.

La situation du dilemme du prisonnier schématise le cas général où l'intérêt individuel est en conflit avec l'intérêt collectif. Elle a l'avantage de se modéliser facilement sous la forme d'un jeu à un coup entre deux joueurs, *A* et *B*. Les règles en sont les suivantes :

1. Chacun des joueurs a deux options: *C* (pour coopération) et *D* (pour défection).
2. Les joueurs jouent simultanément et sans annoncer leur action au préalable.
3. Une fois les jeux faits, des gains sont attribués suivants les quatre situations possibles résultant des choix individuels.

En notant *T*, *S*, *R* et *P* des nombres vérifiant les conditions deux contraintes suivantes :

contrainte 1 : $T > R > P > S$,

contrainte 2 : $T + S < 2R$,

le résultat du jeu peut se résumer par le tableau suivant :

Tableau 1 : Matrice synthétisant les gains obtenus au cours d'un dilemme du prisonnier.

Joueur B → ↓ Joueur A	B joue C	B joue D
A joue C	A et B gagnent R	A gagne S et B gagne T
A joue D	A gagne T et B gagne S	A et B gagnent P

Soit par exemple :

B → ↓ A	B joue C	B joue D
A joue C	A et B gagnent 3 €	A gagne 0 € et B gagne 5 €
A joue D	A gagne 5 € et B gagne 0 €	A et B gagnent 3 €

La contrainte 1 exprime deux choses. D'une part, quelle que soit l'action de l'adversaire, la défection apporte toujours, du point de vue individuel, un gain strictement supérieur à ce qu'aurait apporté la coopération toutes choses étant égales par ailleurs ($T > R$ et $P > S$). D'autre part, que la coopération mutuelle est strictement préférable, à titre individuel, à la défection mutuelle ($R > P$).

La contrainte 2 assure que collectivement, la coopération mutuelle est plus avantageuse que toutes les autres configurations. Entre autres, il n'y a aucun moyen pour les joueurs, une fois le jeu terminé, de partager les gains de manière à ce que, après partage, la coopération mutuelle eut rapporté moins qu'une autre combinaison de décisions.

Selon la situation étudiée, les coefficients T , R , P et S sont amenés à représenter des aspects très variés de la réalité comme par exemple, le temps consacré à une certaine tâche, la sécurité, le plaisir procuré à autrui, les gains monétaires au cours d'un jeu, etc. Ainsi, beaucoup de situations de la vie réelle ont une structure du type dilemme du prisonnier, comme par exemple la queue à un arrêt de bus ou la course aux armements entre deux pays.

ii) Un problème plus général

Dans sa forme originale, le dilemme du prisonnier est un jeu en un coup à deux joueurs. Il se généralise facilement en un jeu à plusieurs joueurs, qui traduit le même type de conflit entre intérêt collectif et intérêts individuels. Ces types de jeux sont appelés de manière générale *dilemmes sociaux*. Une situation proto-typique est par exemple le problème de la *provision de biens publics*. Si des villageois veulent construire un pont pour permettre le franchissement plus facile d'une rivière, ils peuvent être amenés à collecter des fonds ou à demander à chacun de participer à sa construction. Étant donné qu'une fois construit, tout un chacun pourra profiter également du pont, certains individus peuvent être amenés à ne pas contribuer à la construction en laissant faire les autres. S'il n'y a aucune obligation à contribuer, cette tendance à resquiller pourra en décourager certains, et le pont ne sera finalement peut-être pas construit.

Ces dilemmes sociaux sont présents à toutes les échelles de l'organisation sociale. Nous les retrouvons avec la même force lorsqu'il s'agit d'établir des décrets entre États concernant la réduction des gaz à effet de serre, que certains ne respecteront pas. Dans ce cas précis, il s'agit d'un dilemme légèrement différent du précédent, du type *gestion biens communs* (*Common Pool Resources*). Il est caractérisé par le fait que l'exploitation du bien par certains individus peut détériorer le profit que peuvent en retirer les autres consommateurs (principe de rivalité), voire mener à la destruction du bien commun (un climat stable et de moindre variance qui deviendrait instable avec de fortes perturbations). La provision de biens publics et la gestion des biens communs font partie de dilemmes sociaux les plus difficiles et les plus tragiques, car dans ces cas, il n'est pas possible de sélectionner son action en fonction de son partenaire (ceci s'appelle en économie principe de non-exclusion). Tout le monde profite d'une contribution, et une trahison a un effet sur tous. Précisément parce que les problèmes de biens communs ou de biens publics sont les terrains les plus défavorables au maintien de la coopération, les principales situations modélisées dans cet ouvrage appartiendront à l'une de ces deux catégories. Le nombre d'ouvrages et d'articles consacrés aux différents types de dilemmes sociaux est considérable et nous ne pourrions en donner qu'un compte-rendu partiel. Un bon exposé des problèmes mis en jeu dans le cas particulier des biens communs, aussi bien du point de vue institutionnel, que social et individuel, pourra être trouvé dans le très instructif *Rules, Games, & Common-Pool Resources* (Ostrom et al. 1994).

I.1.C.b La coopération en laboratoire

Une fois déterminé un ensemble de situations qui représentent de façon schématique des situations de coopération, la question qui se pose naturellement est de savoir comment se comportent des êtres humains placés artificiellement dans ce genre de situation. Par exemple, de nombreux économistes et psychologues ont élaboré des expériences dans lesquelles ils faisaient jouer anonymement un dilemme du prisonnier à des joueurs volontaires. Les résultats obtenus sont très intéressants, car ils mettent en évidence l'hétérogénéité des comportements face à ce genre de situation.

Le protocole standard est le suivant ;

- des valeurs pour T , R , P et S vérifiant les contraintes 1 et 2 sont choisies par l'expérimentateur. Dans la littérature on retrouve fréquemment les valeurs $T=5$, $R=3$, $P=1$ et $S=0$ qui sont celles choisies initialement par Axelrod.
- Un groupe de joueurs volontaires est réuni, et les joueurs se font expliquer le jeu à huis clos. Ils sont ensuite associés par paires de manière aléatoire, sans que les identités soient révélées.
- Le jeu est joué une et une seule fois par chaque paire, puis chacun repart avec des gains monétaires proportionnels aux gains obtenus au cours du jeu (par exemple 50€, 30€, 10€ ou 0€).

Les joueurs ne se voient donc jamais, n'ont aucune chance d'interagir à nouveau et n'ont aucune connaissance sur leur adversaire. En admettant que l'appât du gain constitue la principale motivation des individus qui ont consacré du temps à se soumettre à ce jeu, nous pourrions nous attendre à ce que la majorité des joueurs fasse défection. En effet, *quoi que fasse son adversaire*, le gain d'un joueur est *toujours* supérieur lorsque celui-ci joue D plutôt que C . Cette attente est en partie réalisée, mais fort heureusement, pas au niveau que le laisserait supposer une première approche. Les multiples études réalisées à ce jour révèlent en effet que le taux moyen de coopération se situe entre 40 et 60 % (voir par exemple Ahn et al. 2001).

Ce type de résultats se retrouve également lorsque l'on examine d'autres dilemmes sociaux, comme des situations de provisions de biens publics (Dal Forno et Merlone 2004*, Sonnemans et al. 1999*), le jeu de l'ultimatum (Henrich et al. 2001*) ou le jeu de

l'investissement (Cochard et al. 2004*, Fehr & Fischbacher 2003*), suggérant une forte prédisposition des sociétés humaines pour la coopération. Mais le plus intéressant est l'insistance des différents rapports d'expériences sur *l'hétérogénéité des règles de comportement* au sein des populations étudiées. Le plus bel exemple d'un tel constat est fourni par une étude récente portant sur les influences de la culture d'origine des joueurs sur l'issue de ce genre d'expériences (cf. encart 1). Ainsi, après avoir mené une étude à large échelle sur différents continents autour du dilemme du prisonnier, du jeu de l'ultimatum et du jeu du dictateur, dans 15 sociétés traditionnelles de petites, Henrich et al. (2001*) nous livrent les conclusions suivantes ³ :

We found, first, that the canonical selfishness-based model fails in all of the societies studied. Second, there is more behavioral variability than had been found in previous research. [...]

Our evidence leads us to recognize two fundamental types of behavioral heterogeneity:

- between group heterogeneity, which is apparently closely related to group differences in social structure and culture,
- and within group heterogeneity, which is for the most part unexplained in our study but which is strongly suggestive of the coexistence within groups of distinct dispositions, situationally cued mental models, or other behavior-producing constructs.

Ces résultats empiriques concernant les stratégies et les procédures de décision que sont capables de mettre en œuvre des êtres humains sont très importants dans le cadre d'une modélisation des systèmes sociaux. Ils mettent en évidence une diversité de comportements et de règles de comportements qui est désormais devenue l'une des principales propriétés dont cherchent à rendre compte les modèles. Nous montrerons dans la partie *III* comment il est possible d'envisager cette hétérogénéité du collectif comme une propriété intrinsèque des capacités cognitives des individus et des réseaux qu'ils forment. Les études empiriques que nous venons de mentionner ne prennent pas en compte cette dernière composante. L'observation des réseaux sociaux nécessiterait en effet de pouvoir observer sur le long terme, dans des conditions expérimentales, un

³ Nous avons trouvé, premièrement, que le modèle canonique fondé sur l'agent rationnel égoïste ne s'applique à aucune des sociétés étudiées. Deuxièmement, qu'il y a beaucoup plus de variabilités comportementales que ne l'ont montré les études précédentes.[...] Nos résultats nous ont amené à identifier deux types fondamentaux d'hétérogénéités :

- une hétérogénéité inter-groupes, qui est apparemment fortement liée à des différences dans leurs structures sociales et leurs cultures,
- une hétérogénéité intra-groupes, qui reste en grande partie non expliquée par notre étude, mais qui suggère fortement la coexistence à l'intérieur d'un même groupe, de différentes dispositions, de modèles mentaux contexte-dépendants ou d'autres types de processus de production de comportements.

nombre important d'individus, ce qui est difficilement réalisable. Nous allons donc nous tourner vers les sciences des systèmes complexes, qui vont nous fournir des exemples proto-typiques de l'effet de la structure du réseau sur les comportements collectifs dans le cadre des phénomènes de coopération.

DIFFÉRENCES INTRA-GROUPES ET INTER-GROUPES DANS LE JEU DE L'ULTIMATUM

Lors d'une étude dans 15 sociétés traditionnelles de petite taille, Henrich et al. (2001*) ont observé l'influence de la structure sociale et du contexte culturel sur le comportement des individus en situation de jeu. Cette étude s'est concentrée sur trois types de jeux : la provision de biens publics, le jeu de l'ultimatum et le jeu du dictateur. Le jeu de l'ultimatum est, comme le dilemme du prisonnier, un jeu à deux joueurs très classique. Quoique très différents dans sa structure du dilemme du prisonnier, nous avons choisi de présenter cette partie de leurs résultats, car elle est la plus facilement interprétable d'un point de vue graphique, et illustre de façon remarquable le propos des auteurs.

Le protocole est le suivant. Une certaine somme d'argent est attribuée à un joueur *A*. Il lui est ensuite demandé de la partager avec un autre joueur *B*. *A* propose alors au joueur *B* un certain pourcentage de cette somme. Dans un deuxième temps, *B* a le choix d'accepter ou de refuser cette proposition. S'il l'accepte, le partage est effectué et chacun repart avec sa part. Dans le cas contraire, l'expérimentateur reprend la somme d'argent, et personne ne gagne rien. La théorie du choix rationnel prédit que le joueur *B* devrait accepter le partage quelle que soit sa nature, car mieux vaut un peu que rien du tout. Le joueur *A*, sachant cela, devrait alors proposer un partage fortement à son avantage. Dans les faits, les choses sont bien différentes.

Comme le montrent les graphiques suivants (Figure 2 et Figure 3), les natures des offres sont très variées au sein d'une même société, et leur distribution varie significativement d'une société à l'autre. Nous pouvons voir clairement que le partage effectué par le joueur *A* n'est pas nécessairement à son avantage. De plus, le joueur *B* n'accepte pas nécessairement toutes les offres et, fait encore plus étonnant, certaines offres trop généreuses (au-dessus de 50 %) sont rejetées dans certains groupes (en particulier chez les Au et les Gnaou).

Après une étude prenant en compte le contexte économique et culturel des différentes sociétés étudiées, les auteurs ont montré qu'une part substantielle des variations comportementales inter-groupes pouvait être expliquée par le degré d'intégration économique de ces sociétés : plus le marché est développé ou plus la coopération est avantageuse au sein de ces sociétés, plus la pro-socialité s'est révélée marquée dans les expérimentations. En revanche, les variables individuelles démographiques ou économiques n'expliquent pas les variations comportementales intra-groupes, celles-ci ne peuvent être expliquées que par la coexistence de motivations différentes. Enfin, les comportements dans les situations de jeu sont cohérents avec ceux observés dans la vie quotidienne.

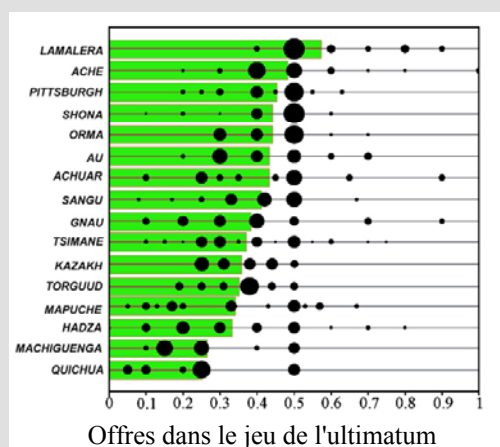


Figure 2 : Graphique montrant la distribution des offres dans le jeu de l'ultimatum pour chaque groupe (joueur A). La taille des bulles le long de chaque colonne horizontale représente la proportion de l'échantillon correspondant à ce niveau d'offre. Les barres grisées indiquent l'offre moyenne au sein de chaque groupe. Par exemples chez les Au, une grande partie des offres se concentrent autour de 25 % du montant total, tandis que la moyenne des offres est de 40 % du montant total.

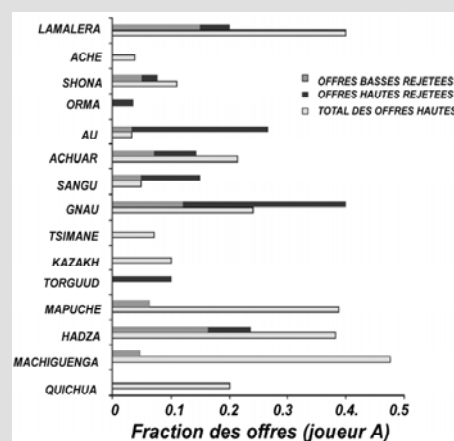


Figure 3 : Résumé des réponses aux offres dans le jeu de l'ultimatum (joueur B). Les barres en gris clair indiquent la proportion des offres dont le montant représente moins de 20 % du montant total. La barre en gris plus foncé située au-dessus représente la proportion totale des offres qui ont été rejetées par *B*, et sa partie la plus claire, la proportion des offres rejetées qui se situent en dessous de 20 %. Par exemple chez les Au, il y a eu environ 3 % d'offres en dessous de 20 % du montant total, qui toutes ont été rejetées. Les offres basses tracées pour les Lamalera sont une feinte de l'expérimentateur.

Résumé du chapitre I.1

En nous intéressant à l'organisation de la fourmilière, nous avons pu donner un premier exemple de *systèmes complexes* et de leur modélisation. Ceci nous a permis d'introduire la notion de propriété émergente, et de voir dans quelle mesure ce type de propriété pouvait être indépendant d'une description fine des individus. Certaines caractéristiques individuelles ont cependant été identifiées comme déterminantes pour le comportement collectif, parmi lesquelles la manière dont la fourmi résout ce que nous avons appelé le *compromis exploration/exploitation*.

Cette notion fondamentale en vie artificielle, intelligence artificielle, systèmes dynamiques et théorie de la décision consiste à décrire le rapport existant entre processus déterministes (suivre une trace de phéromone) et processus aléatoires (explorer au hasard). Dans cet exemple, l'efficacité de la fourmilière en tant que super-organisme dans la recherche de nouvelles sources de nourriture, est paramétrée de manière simple par une part d'aléatoire dans le comportement des fourmis, qui s'interprète au niveau collectif comme la résolution d'un compromis exploration/exploitation. Cette part d'aléatoire fréquemment appelée *bruit* ou *perturbations* en théorie des systèmes dynamiques, peut donc, si elle est bien ajustée, peut avoir un effet structurant sur le système.

La fourmilière est un exemple intéressant c'est un cas rare dans la nature, de coopération et de coordination à grande échelle. Si rare, que mis à part les insectes sociaux, seule l'espèce humaine présente de tels phénomènes. Si la complexité de la fourmilière commence à être bien comprise, celle des systèmes sociaux humains est toujours problématique. En particulier, la question de l'origine de la coopération humaine à grande échelle a fait l'objet de nombreuses études théoriques. Si la communauté scientifique s'accorde à modéliser les situations de coopération sous la forme du *dilemme du prisonnier* et de ses variantes, il n'y a pas actuellement de consensus dans la communauté scientifique autour de l'origine de la coopération. Parallèlement, des études empiriques ont mis en évidence un fait important : l'*hétérogénéité des procédures et des comportements* des êtres humains dans des tâches coopératives révèle une *hétérogénéité d'objectifs*.

La coopération étant un domaine de modélisation clairement identifié, nous l'avons choisie comme exemple prototypique de modélisation d'un fait stylisé. Nous étudierons donc des dilemmes sociaux, en essayant de rendre compte de l'émergence et de la stabilité de la coopération, ainsi que de l'hétérogénéité des buts des agents.

