
Éléments d'une analyse des normes en termes de simulation multi - agents

Yves Saillard

*LEPHE, MSH- Alpes, CNRS
1221, rue des résidences
38400 Saint-Martin d'Hères
yves.saillard@upmf-grenoble.fr*

RÉSUMÉ. Les travaux que l'on regroupe ici dans une « analyse des normes », visent à rendre compte de la coordination d'agents dotés de modes de comportement et qui interagissent dans la durée. Les normes sont produites par les agents et constituent pour eux des références. Les modèles de simulation multi-agents sont un outil privilégié par cette analyse afin de tester des hypothèses alternatives de comportement et d'interaction. Ils constituent aussi une aide à la construction de représentations théoriques visant à expliciter les dynamiques à l'œuvre derrière des observations empiriques.

ABSTRACT. The works which we group together here in an " analysis of the norms ", aim at reporting the coordination of agents endowed with rules of behaviour, and who interact in the duration. The norms are produced by the agents and constitute references. The agent-based models are efficient tools for this analysis and to test alternative hypotheses of behavior and interaction. They also contribute to build up alternative theoretical representations and to clarify the dynamics behind empirical observations.

MOTS-CLÉS : normes, simulations multi-agents, coordination, organisation, réseaux.

KEYWORDS: norms, agent-based models, coordination, organization, networks.



1. Introduction

Un ensemble de travaux proposent ce que l'on convient de désigner par la suite comme une « analyse économique des normes ». Ils visent à rendre compte de la coordination des agents dotés de modes de comportement qui interagissent dans la durée. Les comportements et les décisions des acteurs construisent des références grâce aux échanges développés, souvent sur le long terme. Dans ces processus, l'organisation sociale des relations entre acteurs est déterminante. Selon cette approche générale, les normes sont construites par des acteurs qui appartiennent à des systèmes sociaux qui sont de natures très diverses : simples voisinages, marchés, réseaux, groupes sociaux plus ou moins constitués, ... Les hypothèses de comportement jointes à l'incidence des organisations sociales des acteurs, font que l'émergence de normes ne se réduit pas à des confrontations de simples intérêts économiques, mais se fondent aussi sur des représentations ou des croyances.

Une nouvelle méthodologie se développe autour de ces recherches qui contribuent au renouvellement de la microéconomie et se réfèrent à des travaux tels que ceux de S. Bowles¹, J. Elster², T. S. Schelling³, R. Sugden⁴ ou P.H. Young⁵, ou à des analyses menées en termes de *Social Dynamics*⁶.

Ce qui rassemble les recherches participant à l'analyse économique des normes est aussi leur recours à des modèles de simulation développés en termes de systèmes complexes adaptatifs et de simulations multi-agents. On peut ainsi considérer disposer d'outils pertinents pour approfondir notre compréhension des normes et tester des hypothèses théoriques en relation avec des observations empiriques. Il est alors permis d'envisager que l'analyse économique des normes permette de développer des approches plus institutionnalistes, sans se limiter à l'application de critères économiques standards de rationalité et d'interaction.

On prend le parti dans cette contribution d'ordonner un ensemble de travaux illustratifs de cette approche afin d'indiquer comment ils contribuent à l'approfondissement des questions que l'on se pose lorsque l'on s'intéresse aux normes. Après avoir caractérisé les orientations principales de cette approche dans une première section, on rassemble dans une seconde section ses résultats dispersés et on en propose une présentation synthétique en termes de simulation multi – agents.

¹ (Bowles, 2004).

² (Elster 1989).

³ (Schelling, 1978).

⁴ (Sugden, 1989).

⁵ (Young; 1996, 1998).

⁶ (Durlauf, Young; 2001).

2. Eléments d'une analyse économique des normes

Les travaux auxquels on se réfère dans cette contribution sont ordonnés autour de quatre questions :

- l'émergence d'une coordination « endogène » par les normes ;
- quelles sont les relations que l'on peut établir entre la rationalité des agents et les normes auxquelles ils parviennent ?
- l'organisation sociale des interactions entre les agents et son impact sur la forme et le type de normes qui émergent ;
- les effets rétroactifs des normes, produites par les agents, mais qui influent sur leurs représentations et leurs comportements.

2.1. L'émergence d'une coordination « endogène » par les normes.

2.1.1. Une approche liminaire des normes

Une approche liminaire des normes consiste à les présenter comme une commodité de coordination impliquant des régularités de comportement fondées sur des calculs de gains et la répartition initiale de la population entre comportements alternatifs.

Dans le modèle de conformité de H.P. Young, les individus ont le choix entre deux comportements alternatifs et on suppose que chaque agent souhaite se comporter comme son voisinage. Le conformisme des agents peut être motivé par des raisons diverses : de simples effets d'imitation, la volonté de se coordonner ou l'alignement sur un comportement dont l'efficacité est démontrée, (Young, 2001)⁷.

Le modèle permet de montrer comment un comportement conformiste peut engendrer un processus dynamique et comment ce processus est lié à l'agencement des interactions entre agents.

Les hypothèses relatives à l'espace social sont celles d'un modèle d'interaction de base où les agents constituent les sommets d'un graphe représentatif d'un espace géographique ou social. Les arêtes du graphe matérialisent les relations entre les agents.

On suppose que l'utilité attachée par les agents à un comportement donné dépend de la répartition entre les comportements dans le voisinage et des gains attachés à chaque combinaison possible des comportements. Un cas simple consiste à supposer que des comportements contradictoires impliquent des gains faibles alors que les comportements convergents impliquent des gains élevés. Lorsque les gains

⁷ Les motivations précises des agents, variables selon les différentes formes de conformisme distinguées par P.H. Young, n'entrent pas en ligne de compte dans ce modèle.

attachés aux deux comportements convergents possibles sont inégaux, le comportement qui rapporte le plus se diffuse plus facilement au sens où pour s'y conformer, la proportion d'agents de son voisinage qui l'adoptent déjà peut être plus faible. Les conditions initiales sont cependant décisives : tout dépend comment se répartissent les choix entre les individus de son voisinage, avant la simulation. La fixation des niveaux des gains attachés à chaque comportement et la répartition des agents entre les comportements désignent *a priori* quel comportement devrait s'imposer comme norme selon des critères d'efficacité sociale.

2.1.2 Les normes comme équilibres

L'état d'un système indique le choix de chaque agent entre les deux comportements possibles. Par définition, un état est un équilibre si aucun des agents ne souhaite modifier son comportement compte tenu de celui de ses voisins. Une norme sociale est un équilibre particulier, atteint lorsqu'un ensemble d'agents, ou une proportion importante de cet ensemble, suivent un même comportement.

La structure des relations entre agents et les gains attachés à chaque comportement, peuvent faire émerger des normes globales qui s'imposent à l'ensemble de la population ou des normes locales qui ne s'imposent qu'à des sous – populations et qui peuvent cohabiter durablement. De telles situations, qui font apparaître sur le graphe et selon la terminologie de P.H. Young des « enclaves », sont des équilibres au sens où aucun individu, compte tenu de ses relations de voisinage, ne souhaite modifier son choix.

Le modèle de P.H. Young pose les questions du passage de situations hors équilibre du système social à des états d'équilibre et de la nature de ces équilibres : avec une pluralité de normes locales ou une seule norme globale. Le système social évolue selon les processus de révision des choix individuels et des décisions décentralisées fondées sur le critère de meilleure réponse. Il ne mène pas nécessairement à un optimum social : cela dépend des gains attachés respectivement à chacun des deux types de comportement. Cela dépend aussi des répartitions des choix des individus et des relations de voisinage qui sont établies initialement. Enfin l'ordre même, fixé de façon aléatoire, dans lequel les individus actualisent leurs choix, contribue à rendre incertain le cheminement vers des normes⁸.

H.P. Young introduit une hypothèse complémentaire sur le comportement des agents qui consiste à admettre que les choix sont parfois aléatoires et ne suivent pas toujours la règle de la meilleure réponse.

Ces hypothèses font que le processus stochastique d'évolution du système évolue vers une distribution stationnaire, c'est-à-dire que l'on peut définir avec quelle probabilité chaque état est atteint, indépendamment de l'état initial. P.H. Young indique que cette distribution peut être calculée à partir du « potentiel » de chaque état, fonction des gains attachés à chaque combinaison des comportements et

⁸ L'ensemble de ces caractéristiques font de ce cheminement un processus non ergodique.

des caractéristiques du graphe initial. On peut alors estimer la vraisemblance relative de voir les différents états correspondre à des situations d'équilibre ou de déséquilibre.

Le temps d'attente pour que des comportements émergent comme une norme dépend de l'organisation des interactions sociales. Il est d'autant plus réduit que les interactions entre agents s'inscrivent dans des petits voisinages et ne sont pas réduites à des interactions entre individus. H.P. Young généralise ce résultat en démontrant que pour la plupart des formes habituelles de graphe (et quelle que soit leur taille), le temps d'attente pour un état stochastiquement stable est borné, ce qui peut cependant être très long, (Young, 2001).

P.H. Young évoque plusieurs hypothèses sur la diffusion des comportements, sans les intégrer à la formalisation qu'il propose, et qui se concentrent sur les effets de voisinage. Ainsi il admet que le pouvoir des agents et les relations hiérarchiques peuvent jouer, sans que ce soit une condition nécessaire et suffisante. Il indique aussi qu'une décision d'un agent peut prendre un sens différent et induire des effets de diffusion très variables selon les contextes : selon les circonstances, une décision individuelle peut déclencher (« quand c'est mûr ») des imitations en chaîne.

H.P. Young envisage une inversion du modèle au sens où les voisinages deviendraient endogènes avec des comportements invariables. L'agent ne choisit plus entre deux types de comportement mais décide de constituer son voisinage avec les agents qui suivent le même comportement que lui.

2.2. *La transition entre les normes*

Les travaux que Robert Boyer et André Orléan ont publiés au début des années 90⁹, visaient à rendre compte des difficultés du passage d'une convention à l'autre, la notion de "convention" désignant ici une forme dominante du rapport salarial. Pouvait-on rendre compte du passage de la convention "concurrentielle" à la convention "fordienne" de façon "endogène", c'est-à-dire comme le résultat d'interactions entre acteurs? La réponse était largement négative. Robert Boyer et André Orléan nous renvoyaient à des déterminants "exogènes", c'est-à-dire au contexte des interactions entre acteurs pour expliquer comment une convention nouvelle pouvait supplanter une convention ancienne. La transition était principalement dépendante de contextes de crise plus ou moins radicale.

2.1.1. *L'importance des formes d'interaction sociale*

La représentation par Robert Boyer et André Orléan du problème est très proche du modèle de conformité de P.H. Young. Ils indiquent notamment comment les formes d'interaction sociale sont particulièrement décisives pour les modèles de construction des normes sociales.

⁹ On se réfère principalement dans ce paragraphe à leur article de 1992, (Boyer, Orléan ; 1992).

Une première étape représente l'impact de choix individuels successifs sur le partage d'une population entre deux normes. On ne se pose pas la question de l'émergence de ces normes mais seulement comment on passe d'une norme à une autre, chacune de ces deux normes étant supposée à la disposition des agents.

La population est en nombre fini. Une position est affectée aléatoirement à chaque agent sous la forme de coordonnées (x,y) dans un tore à deux dimensions, et cette position reste fixe tout au long d'une simulation. Cette distribution spatiale ne joue pour ce modèle aucun autre rôle que d'identifier les agents ; elle permet cependant une évolution du modèle vers des variantes où la distribution spatiale serait prise en compte. Le processus est initialisé en supposant que chaque individu adhère à l'une ou à l'autre de deux normes existantes. L'intérêt pour chacun de suivre une norme dépend du gain attaché à chaque norme et de la part de la population qui suit cette norme. Il n'y a aucune relation entre les gains respectifs des normes et la répartition de la population entre les deux normes fixée initialement.

Chaque individu se prononce successivement selon un ordre aléatoire. Il actualise son choix selon un critère de valorisation qui combine l'efficacité de la norme et sa diffusion, supposées connues. Il n'y a pas véritablement d'interaction mais un choix sous l'influence de la diffusion des normes existantes (et de leur efficacité respective). La règle de comportement suivie par les agents revient à supposer qu'il n'y a aucun attachement d'un individu à une norme, ni à ses choix passés. Son choix peut à chaque moment être remis en question, et il ne dépend que de la valorisation calculée au moment de son choix.

Il n'y a pas de voisinage explicitement défini, sauf à considérer le soutien à une norme comme définissant un voisinage. Mais ce "voisinage" est remis en cause à chaque choix. La position des individus n'a pas d'incidence sur leurs relations. L'interdépendance entre les individus est réduite aux effets de la répartition de la population sur la valorisation des normes.

Le processus aboutit selon les conditions initiales à l'installation exclusive d'une norme par le maintien d'un monopole existant ou une domination qui finit en monopole, ou à des phases d'instabilité qui éventuellement débouchent sur des phases de domination puis de monopole.

La population est progressivement rendue homogène par le renforcement d'une norme dominante. Dans le cadre des hypothèses de cette simulation, la norme dite "dominante" est celle qui est soutenue par une majorité de la population. Plus grande est cette majorité, moins il est nécessaire qu'elle se montre efficace (c'est-à-dire qu'elle permette des gains supérieurs à ceux qu'offre la norme concurrente).

Une étape suivante consiste à introduire explicitement les interactions entre les agents. Les individus entrent en interaction au hasard par tirage au sort. Qui interagit avec qui dépend donc, lorsque la probabilité de chacun d'être choisi est la même (hypothèse simplificatrice retenue), des proportions respectives de ceux qui adoptent chacune des deux normes en concurrence.

Il n'y a toujours pas de voisinage au sens où chacun peut rencontrer n'importe qui d'autre ; les autres agents ne pèsent sur le choix d'un agent donné que par leur répartition entre les deux normes.

Chaque individu est doté d'une fonction d'utilité identique qui indique sa préférence conditionnellement au choix de l'individu avec lequel il interagit. Les deux termes de préférence individuelle stricte et d'influence sociale ne sont donc pas dissociés.

Les hypothèses sont peu modifiées relativement au modèle précédent, mais la logique des choix individuels est différente. Il ne s'agit plus pour chaque agent d'exprimer un choix de norme informé par la répartition de la population entre les deux normes et les gains attachés à chacune des normes. Il s'agit ici de réponses données par les agents à l'occasion de confrontations successives avec d'autres agents, et qui peuvent être représentées en termes de jeux à deux joueurs.

Relativement au modèle précédent, la règle de comportement des agents change, et donc la fonction de transition entre leurs états. L'individu ne se réfère pas à son choix passé mais renouvelle ses choix quand il est sollicité. Lorsqu'il n'est pas tiré au sort, son choix passé est maintenu. Les gains ne sont pas ici attachés à chaque norme, mais dépendent du choix respectif de chacun des deux individus confrontés. Le choix conjoint d'une norme est valorisé (inégalement selon les normes) et la différenciation des choix est coûteuse. Ces hypothèses impliquent de répéter à chaque confrontation le même jeu de coordination. L'invariabilité du jeu tient à ce que les individus sont supposés avoir une fonction d'utilité identique.

Si la mésentente sur le choix de la norme pour deux individus confrontés implique un gain nul, quels que soient les choix respectifs de chaque individu, alors le processus de ce modèle ne diffère du cas précédent que dans la procédure d'actualisation des choix individuels.

Les individus tirés au sort ne sont pas ici simplement consultés mais doivent résoudre un problème de coordination qui est un choix de comportement. L'option entre rouler à gauche ou rouler à droite en est l'exemple emblématique. Le problème du choix entre deux normes se résout avec ces hypothèses comme un problème d'émergence de norme, ce qui n'est pas étonnant car avec ces hypothèses, une « norme » n'est plus qu'une alternative entre deux règles de comportement.

Si les individus ont des fonctions d'utilité spécifiques le processus est plus complexe. Le déroulement du processus dépend alors de la répartition initiale des individus entre les deux normes et de leurs valorisations particulières des différentes issues possibles d'une confrontation, qui ne s'exprime plus nécessairement comme un problème de coordination. Le destin des normes dépend de ces hypothèses. Un cas particulier pourrait être de considérer qu'une partie de la population survalorise une des deux normes, et que l'autre partie de la population survalorise la seconde norme. Il est aussi logique de penser que c'est la première partie de la population qui a initialement adopté la première norme et que c'est la seconde partie de la

population qui a adopté la seconde norme, auquel cas, il y a de fortes chances pour que le *statu quo* soit maintenu : les calculs d'utilité espérée confortent chacun dans son choix.

Il reste que le choix passé de l'individu (comme dans le modèle précédent) ne pèse pas sur son choix présent et le temps est absent.

Avec ces hypothèses, de comportements individuels de meilleure réponse, de population indifférenciée et de contexte inerte, Robert Boyer et André Orléan ont montré que le passage d'une norme existante à une norme qui serait pourtant plus efficace est difficile voire impossible. On se trouve dans une véritable trappe à norme.

Une fois les gains attendus de chaque norme donnés, la dynamique de répartition entre les normes existantes est seulement affaire de nombre. Dans le cadre de ces hypothèses, la difficulté du passage d'une norme à une autre tient au caractère "auto-renforçant" des normes : par le simple fait qu'elle existe, les agents sont portés à la suivre et les individus qui ne suivent pas cette norme sont pénalisés, vouant à la disparition tout comportement minoritaire.

Selon la terminologie de la théorie des jeux, les normes peuvent être considérées comme des stratégies évolutionnairement stables : une norme existante ne peut pas, selon cette définition, être contestée par une minorité¹⁰.

La stabilité d'une norme existante est essentiellement affaire de rapports quantitatifs entre les effectifs d'individus soutenant les normes alternatives. Le passage d'une norme à l'autre, et en particulier d'une norme donnée à une norme meilleure socialement ne peut se faire par la seule poursuite de la rationalité individuelle (celle qui se concentre sur le critère des utilités espérées pour faire éventuellement changer la décision d'un individu). On peut seulement pressentir que selon la différence entre les gains obtenus de chaque norme et le partage entre les effectifs qui soutiennent chaque norme, le passage d'une norme à l'autre est *a priori* plus ou moins facile, sans que l'on puisse indiquer comment cette évolution pourrait être réalisée dans le cadre des hypothèses retenues ici. Le blocage principal tient à l'incapacité des individus déviants de s'approprier les bénéfices d'un passage d'une norme existante à une nouvelle norme plus efficace. Les agents minoritaires obtiennent une utilité moindre que s'ils avaient suivi la norme en place. L'utilité tirée du choix entre deux stratégies est en effet une fonction croissante, dans un jeu de coordination, du nombre d'individus qui l'ont choisie. Il en résulte une forte pression à se conformer à une norme existante, (Boyer, Orléan ; 1992 ; p. 166).

¹⁰ L'exigence de stratégie évolutionnairement stable est plus forte que celle d'un équilibre de Nash : toute stratégie évolutionnairement stable est un équilibre de Nash, mais tout équilibre de Nash ne correspond pas nécessairement à une stratégie évolutionnairement stable; par contre, une stratégie évolutionnairement stable n'est pas nécessairement Pareto - efficace, (Sugden, 1989).

Les hypothèses d'organisation sociale sont restées jusqu'ici minimales. Bien que le modèle simule des interactions, rien n'indique que les agents économiques appartiennent à une société, sauf qu'ils se rencontrent. De plus, les individus sont indifférenciés (les individus soutiennent éventuellement des normes différentes mais rien ne permet *a priori* de repérer ces différences), ce qui permet de continuer à raisonner en termes d'agent représentatif.

Une formalisation ultérieure reprend les mêmes hypothèses de rationalité stricte et de contexte inerte, mais introduit une différenciation de la population. L'évolution de la répartition d'une population entre deux normes dépend alors de dynamiques locales.

2.2.2. *Différenciation des agents et dynamique de transition*

Les individus n'interagissent plus entre eux de façon indifférenciée et aléatoire (hypothèse qui a été faite jusqu'à maintenant), mais selon des liens de proximité ou des réseaux.

La configuration précédente supposait une population indifférenciée au sens où aucune hypothèse de structuration sociale n'accompagnait la différenciation des choix individuels. Alternativement, on peut considérer que les individus choisissent éventuellement des normes différentes, dont certaines minoritaires, et qu'ils ne sont pas confrontés indifféremment à tous les autres individus. Il existe des distances inégales entre les individus.

Des hypothèses de structuration de l'espace social consistent à représenter de façon schématique la densité des relations entre les individus, le degré de proximité de ces relations, pour ne plus considérer en bloc la population des acteurs. Les individus sont séparés par des distances inégales, que l'on peut interpréter comme des indicateurs d'appartenance à des groupes sociaux différenciés. L'interaction avec d'autres individus est d'autant moins probable que la distance avec eux est grande.

On est incité à de telles hypothèses par des approches institutionnalistes telles que celle de Mark Granovetter, et l'ancrage de l'analyse des institutions dans les relations sociales. Cette approche part de l'idée que la poursuite d'objectifs plus strictement économiques s'accompagne de celle d'autres objectifs, tels que la sociabilité, l'approbation de son entourage, le statut social et le pouvoir. L'action économique (comme toute action) est alors socialement située et ne peut être expliquée par de simples motifs individuels ; elle est insérée dans le réseau de relations personnelles, plus qu'elle n'émane d'acteurs atomisés. Les institutions économiques (comme toutes les institutions) n'émergent pas automatiquement sous une forme déterminée par les circonstances extérieures ; elles sont "socialement construites".

La différenciation sociale et la localisation des interactions permettent d'explicitier des liens sociaux et ont une fonction d'identification, (Boyer, Orléan ;

1992 ; p.167)¹¹. La succession de problèmes de coordination à résoudre dépend de cette structure. La dynamique du système social est également liée aux choix initiaux des individus, que l'on peut supposer aléatoires ou liés d'une façon ou une autre à l'organisation du réseau social (par exemple, ceux qui font les mêmes choix sont plutôt proches et répartis selon plusieurs groupes ; ou les partisans d'une même norme sont proches et les individus minoritaires sont dispersés...).

La simulation du processus de coordination reste fondée sur la succession des choix d'individus tirés au hasard à chaque période. Mais les choix reposent sur un calcul d'utilité espérée qui intègre les probabilités inégales de confrontation avec les autres individus du fait de distances variables entre eux. La règle de comportement s'appuie sur des anticipations informées par l'organisation du réseau, et non plus sur des anticipations « minimales » qui supposent une équiprobabilité de rencontre avec tous les autres individus.

L'ensemble de ces hypothèses permet que les effets d'auto - renforcement et de conformisme soient en partie dépassés. Les interactions entre individus, structurées par l'organisation des relations sociales, apportent des informations qui permettent une appréciation qualitative des différentes solutions. Ces apprentissages font évoluer la répartition des individus entre les normes concurrentes.

Ce qui est décisif alors pour assurer la stabilité d'une norme est moins le rapport quantitatif des populations affiliées aux différentes normes que le tissu des relations sociales nouées entre les individus. Ce qui va être déterminant en particulier, ce sont les gains comparés entre les individus à la frontière des deux populations, c'est-à-dire entre les individus qui ont principalement des relations avec la population qui a fait un choix différent du leur. Si les individus qui choisissent la norme en place tout en étant en contact principalement avec des individus ayant choisi une nouvelle norme, constatent qu'ils ont intérêt à choisir la nouvelle norme, alors ils sont prêts à basculer vers la nouvelle norme qui peut s'imposer progressivement. La localisation permet d'internaliser en partie les effets profitables du passage à la nouvelle norme.

Si une nouvelle norme se diffuse d'autant mieux, comme on l'a déjà noté, que la population qui la soutient est importante, c'est aussi le cas lorsque des interactions sociales permettent de faire émerger sa supériorité, ce qui passe ici par des liens de proximité et des interactions locales. De fait, les simulations montrent que ces deux paramètres sont liés : plus la dimension du groupe minoritaire est faible, plus il lui sera nécessaire pour diffuser sa norme de miser sur des interactions locales intenses. Inversement, plus les interactions locales sont faibles, et plus il est nécessaire au groupe porteur de la nouvelle norme de regrouper des effectifs importants pour s'imposer. Lorsque la population est totalement indifférenciée, la diffusion d'une

¹¹ "In order for individuals to coordinate themselves efficiently, they need to have access to some sort of social and historical data making it possible to overcome strategic uncertainty", (Boyer, Orléan; 1992; 167). Ce constat renvoie à des travaux ultérieurs de P.H. Young .

nouvelle norme est impossible. Si l'interaction est très forte, l'efficacité supérieure d'une nouvelle norme peut suffire à sa diffusion.

On en déduit deux principes généraux :

- une norme a d'autant plus de chance de se maintenir que les individus sont indifférenciés et les minorités sont vouées à la disparition (seul joue alors l'effet masse de comparaison des troupes qui soutiennent chacune des normes alternatives);
- les individus qui soutiennent une norme innovante ne doivent pas attendre grand chose d'une confrontation tous azimuts, mais compter sur l'adhésion progressive des individus qui, tout en soutenant encore la norme existante, sont très souvent en interaction avec les innovateurs.

2.3. Rationalité des agents et normes

La différenciation des agents, nécessaire pour sortir de la « trappe à norme » comme on vient de le voir, renvoie aux hypothèses d'organisation sociale, à la prise en compte des distances sur l'espace social et aux réseaux. C'est une première façon de relativiser les hypothèses de rationalité individuelle. Les travaux évoqués dans ce paragraphe contribuent à compléter les hypothèses de comportement d'agents. On admet que les agents suivent des règles de comportement différentes, inégalement rationnelles, ou en appelant à des rationalités spécifiées. Les effets d'imitation apparaissent décisifs dans les dynamiques sociales à l'œuvre.

2.3.1. Dissocier la « qualité » de la norme de la perfection de la rationalité individuelle

La conjonction d'hypothèses de rationalité limitée chez une partie au moins de la population, de comportements rationnels pour une autre partie de la population et d'effets d'imitation, peut conduire à des décisions qui globalement correspondent à un optimum social, alors même qu'une large partie de la population ne suit pas un comportement rationnel. C'est le résultat auquel aboutissent Axtell et Epstein qui s'interrogent sur les délais d'ajustement des décisions individuelles de départ à la retraite à la suite d'une mesure d'abaissement de son âge légal (Axtell, Epstein ; 1999).

Les effets d'imitation induits par les interactions sociales, suppléent les limites de la rationalité individuelle en permettant progressivement un alignement des comportements individuels, même si cela prend du temps (30 ans selon des données empiriques citées par les auteurs pour que le mode de la distribution des âges de départ à la retraite passe de 65 ans, âge légal initial, à 62 ans, âge légal fixé par les pouvoirs publics)¹². L'hypothèse de rationalité limitée pour au moins une partie des

¹² (Axtell, Epstein ; 1999).

agents s'avère alors moins importante que la représentation que l'on se donne de la différenciation des comportements des individus¹³, et que les effets d'imitation qui donnent accès à une rationalité « acquise ».

Relativement aux approches précédentes, le processus social est différent. Il s'agit ici d'une adaptation des individus à une norme fixée de façon exogène (l'âge légal de la retraite). La question est alors de savoir comment l'ensemble des individus vont l'intégrer dans leurs comportements (une décision binaire : continuer à travailler ou prendre sa retraite).

Les agents sont caractérisés par leur âge (qui selon un processus aléatoire définit leur âge de décès). Leurs règles de comportement sont dissociées selon qu'ils sont « rationnels », prennent leur décision au hasard ou imitent les membres de leur voisinage.

Axtell et Epstein ont testé systématiquement l'impact des divers paramètres exogènes¹⁴ en multipliant les simulations : généralement 50 dans chaque configuration des paramètres afin que les éléments stochastiques du modèles n'interfèrent pas l'interprétation des résultats.

Il en ressort que la dimension des cohortes n'a pas d'effet propre sur le temps nécessaire à l'alignement sur une norme, ici l'âge du départ à la retraite. La réduction de la proportion d'agents rationnels accroît le temps de transition vers la norme et une proportion minimum est nécessaire pour atteindre la norme. Pour une proportion donnée d'agents rationnels, l'augmentation de la proportion d' « agents aléatoires » réduit le temps de transition.

L'augmentation de la dispersion entre les agents quant au seuil de diffusion qui déclenche les effets d'imitation réduit le temps de transition vers la norme : les individus dont le seuil est faible accélèrent les effet d'entraînement vers la norme.

Le temps de transition augmente avec la taille des voisinages. Il décroît lorsque la plage de variation d'un voisinage relativement à l'âge augmente, la proportion d'individus âgés ayant pris leur retraite s'accroissant et ayant des effets d'entraînement sur la décision de prendre sa retraite.

Lorsque l'on passe à l'incidence d'un changement de norme exogène sur les comportements, ce qui est le cas lorsque l'âge légal de la retraite est abaissé par une

¹³ "Perhaps the main issue then is not how much rationality there is (at the micro level), but how little is enough to generate macro-level patterns in which most agents are behaving "as if" they were rational, and how various social networks affect the dynamics of such patterns", (Axtell, Epstein; 1999).

¹⁴ Ces paramètres sont : le nombre d'agents par cohorte d'âge, la répartition des agents entre trois catégories (« rationnels », « imitateurs » et « agents aléatoires »), le seuil d'imitation τ , les plages de variation de la dimension des réseaux et de l'extension de ces réseaux relativement à l'âge, et enfin, le seuil p requis par les « imitateurs » pour suivre un comportement.

décision gouvernementale, les simulations produites par le modèle sont compatibles avec les observations : une trentaine d'années sont nécessaires pour que l'âge modal de départ effectif à la retraite passe de 65 à 62 ans. La durée de transition diminue si la proportion d'agents rationnels est augmentée ; elle s'accroît lorsque le seuil de diffusion qui déclenche l'imitation, la taille des voisinages et leur extension en termes d'âge, sont plus élevés.

Ce type de modélisation permet de tester l'incidence de mesures de politique publique en tenant compte des différenciations des agents selon leur niveau d'information et leur réactivité aux mesures prises, des interactions entre ces populations différenciées, et des éventuels effets d'entraînement qui peuvent se développer à partir d'un groupe donné de la population.

Les interactions entre individus entraînent la diffusion de comportements selon des modalités qui dépendent du degré d'hétérogénéité de la population et des réseaux qui s'établissent entre individus. Ainsi, la différenciation des individus peut, dans des contextes favorables, conduire à relativiser l'importance des hypothèses de rationalité. Le processus d'alignement sur une norme part alors d'une situation de différenciation sociale (selon les critères de rationalité) pour aboutir à une société homogène (selon les mêmes critères de rationalité).

Au-delà des hypothèses restrictives qui peuvent conduire à de tels résultats, il reste que la différenciation de la population (ici entre "rationnels", "irrationnels" et "imitateurs"), implique de ne pas se focaliser sur les seules hypothèses de rationalité : les interactions sociales, quelle que soit la fortune du calcul rationnel, conduisent à des choix qui peuvent aussi bien s'approcher des anticipations d'un optimum social (cas évoqué ici) que s'en écarter (comme l'ont indiqué par ailleurs les travaux d'André Orléan pour les marchés financiers).

2.3.2. *Les normes supplétives au calcul rationnel*

Dans la tradition de l'analyse des conventions ouverte par Lewis, un modèle de J.M. Epstein explicite le caractère auto-renforçant des normes, comme régularités de comportement, (Epstein, 2001). Mais surtout, ce modèle insiste sur l'économie de calcul rationnel que permettent les normes sociales. Cette économie de temps et de calcul est un indicateur de la force d'une norme sociale.

Les règles de comportement des agents expriment un double apprentissage : sur la régularité de comportement qui se met progressivement en place, mais aussi sur l'effort de raisonnement nécessaire à la formulation de leur choix (représenté ici par la dimension du voisinage pris en compte). Une relation réciproque est établie entre l'évolution des choix individuels et la signification sociale de ces choix : chaque individu est influencé par les choix de son voisinage, mais en même temps il définit le voisinage qu'il prend en compte.

Selon cette approche, chaque agent choisit entre deux normes possibles selon l'opinion majoritaire dans le voisinage qu'il prend en compte. Par ailleurs, la

dimension du voisinage considéré dépend de la diffusion des normes (un individu réduit la dimension de son voisinage si cela ne retire rien à son information ; il l'augmente en cas contraire). La dynamique sociale, ici la répartition de la population entre les deux normes alternatives, est donc définie par les évolutions simultanées de l'organisation des interactions entre individus et des comportements individuels.

La règle de comportement qui fait s'aligner un individu sur le choix majoritaire dans son voisinage est conforme à une règle de *best reply* où les gains attachés aux normes alternatives sont équivalents. La règle d'actualisation de la dimension du voisinage introduit un élément de coût dans la recherche d'information qui précède la décision, lié ici à l'homogénéité des choix dans la population d'agents.

En dehors de la configuration initiale, trois paramètres caractérisent plus précisément les simulations successives à partir de ces règles de comportement :

- la part d'aléa introduite dans les choix individuels, c'est-à-dire la probabilité qu'un individu choisisse une norme au hasard (le "niveau de bruit");
- le niveau d'effort d'information, ou "rayon d'observation", maximum admis pour chaque individu ;
- les seuils de tolérance acceptés pour admettre que le changement du rayon d'observation apporte ou non une information supplémentaire.

Les simulations suivent deux indicateurs de l'évolution du système : la répartition de la population entre les deux normes et le rayon d'observation moyen.

Les simulations de ce modèle confirment les résultats du modèle initialement évoqué de Young (au paragraphe précédent) quant à la multiplicité des normes qui sont susceptibles de cohabiter à long terme et à la segmentation possible de groupes d'individus soutenant les différentes normes (« locales ») selon une configuration stable à long terme.

Les simulations de ce modèle apportent aussi des résultats complémentaires :

- la réduction du rayon d'observation, et donc de l'effort d'information, et le renforcement d'une norme vont de paire ;
- les individus "au coeur" d'un groupe soutenant une norme ont moins d'effort d'information à produire que ceux qui se situent à la périphérie du groupe, c'est-à-dire que les individus qui comptent parmi leurs "voisins" des soutiens à une norme concurrente ;
- un aléa constant dans les décisions individuelles empêche au delà d'un certain seuil la stabilité de long terme des segmentations entre individus selon le choix des normes ;
- un aléa temporaire des décisions individuelles perturbe momentanément les segmentations entre individus et fait passer d'une configuration stable à une nouvelle configuration stable.

Un des enseignements principaux de ce modèle est que la cohésion sociale facilite l'adoption des normes. Lorsque les individus fondent leur décision sur l'observation des choix de leur entourage, plus la cohésion sociale sera forte sur l'adoption d'une norme, plus la population environnant l'individu sera homogène sur ce critère et moins les individus seront incités à multiplier leurs observations. Leurs choix de suivre ou non la norme seront donc plus simples. Ce résultat est obtenu sans hypothèse de structuration sociale, mais à partir du seul processus d'apprentissage de chaque individu. La dimension du voisinage pris en compte est une variable strictement individuelle et fluctue selon la diversité des opinions, jusqu'à se réduire au minimum.

La segmentation de la population à laquelle on parvient est "endogène" et produite par les interactions. Elle indique une répartition stable à long terme de la population entre des normes alternatives, qui ne se fonde pas sur des liens de simple proximité spatiale. Elle est d'une nature différente et sans lien explicite avec celle qui est inscrite dans les voisinages.

On pourrait supposer qu'au lieu de partir d'une situation initiale où les voisinages sont aléatoires, ces derniers soient organisés dans un rapport avec la norme. Ici les voisinages interviennent dans le choix de la norme parce que chaque individu suit le choix dominant dans son voisinage, mais les voisinages sont construits initialement indépendamment de l'adhésion à la norme. De fait cette question est traitée de la façon suivante dans le modèle d'Epstein : on peut considérer que la distribution aléatoire des voisinages et des rayons d'observation pour un état initial amorce une première phase qui est celle de l'émergence des normes. A l'issue de cette phase la population se répartit de façon stable entre les normes alternatives. Le rayon d'observation est alors à son minimum (c'est-à-dire 1) pour l'ensemble des individus, sauf ceux qui sont en contact avec des individus adhérant à une norme différente.

2.3.3. Organisation sociale et diffusions en chaîne

Les effets de voisinage, leur évolution et leur participation aux apprentissages sociaux peuvent être illustrés de façon complémentaire par une application à l'innovation empruntée à J.-B. Zimmermann, (Zimmermann, 2004).

Les entreprises sont chacune dotée initialement d'une préférence pour l'innovation (qui pour simplifier peut être représentée par un nombre réel variant dans un intervalle donné). Par ailleurs, chaque entreprise est attentive à la préférence pour l'innovation d'un certain nombre d'entreprises que l'on désigne comme son « voisinage ».

Une première composante de ces modèles est dans la logique des modèles d'interaction : chaque entreprise est soumise à des influences « sociales », ici l'attitude innovante d'autres entreprises. Ces influences sont représentées par des hypothèses simplificatrices : des coefficients normés pour chaque entreprise (ce qui revient à supposer que les entreprises peuvent être soumises à des influences diverses mais qu'elles ont toutes la capacité d'apprécier l'attitude innovante d'autres

entreprises et d'en tirer les conséquences pour elles-mêmes) et une forme de fonction qui indique comment la préférence pour l'innovation varie d'une période « t » à une période « t+1 » selon les influences reçues en « t ».

Cette représentation des interactions permet d'explicitier ce que J.-B. Zimmermann désigne comme des effets d' « avalanche » : on impose à l'une des entreprises un choc exogène, par exemple en supposant que désormais sa préférence pour l'innovation est maximum, et on teste les effets en chaîne sur l'ensemble des entreprises. Les incidences d'un tel choc varient bien évidemment selon la place de l'entreprise soumise à ce choc dans l'ensemble des relations complexes existant entre toutes les entreprises.

Plus généralement, la diffusion des innovations technologiques dépend des caractéristiques du réseau entre les entreprises. J.-B. Zimmermann explicite comme un indicateur de diffusion du progrès technologique, le taux minimal d'adoption initial d'une technologie nouvelle nécessaire à sa diffusion dans l'ensemble du réseau des entreprises. Il montre que si ce taux est inférieur à un premier seuil s_1 , l'innovation ne sera pas adoptée ; s'il est supérieur à un second seuil s_2 , l'innovation est adoptée à coup sûr. Entre les deux valeurs s_1 et s_2 , on ne peut pas conclure.

J.-B. Zimmermann indique aussi que la représentation de l'influence à laquelle une entreprise est soumise dans ses choix d'innovation, conduit à distinguer deux effets « structuraux » dans le processus de diffusion et d'adoption des nouvelles technologies : ceux qui dépendent de l'organisation des relations entre agents (le réseau social, qui selon les hypothèses retenues jusqu'ici par les modèles d'interaction, n'évolue pas) et déterminent les seuils s_1 et s_2 , et ceux qui dépendent de la composition (variable, elle) du groupe des entreprises adoptant la nouvelle technologie et déterminent les chances de convergence quand le taux initial d'adoption se situe entre les seuils s_1 et s_2 .

L'introduction d'une hypothèse d' « apprentissage social » modifie la dynamique d'un tel modèle. Il s'agit de fait de rendre endogènes les voisinages en supposant que si chaque agent est bien soumis à des influences sociales, il essaie aussi de renforcer ses propres préférences et a tendance à s'entourer des avis qui lui sont proches ! Dans l'approche retenue par J.-B. Zimmermann, l'influence exercée par un agent sur un autre agent augmente ou diminue selon que la proximité de leurs préférences pour l'innovation est forte ou faible. Cette hypothèse conduit à rapprocher le réseau social d'un graphe régulier où les dynamiques locales sont essentielles. La cohésion sociale est donc renforcée, ainsi que les chances de diffusion d'une nouvelle technologie.

L'efficacité spécifique de l'amélioration de la cohésion sociale pour la diffusion des innovations concerne ici des configurations incertaines : lorsque le taux d'adoption initiale et l'organisation des réseaux sociaux ne permettent pas de conclure sur l'avenir de l'innovation. De plus, les chances de l'innovation ne passent pas par une convergence mécanique, mais par la capacité d'entreprises

leaders de déclencher avec succès des effets d'avalanche, c'est-à-dire une propagation cumulative de l'innovation qu'ils ont lancée. Des éléments de dynamique sociale permettent l'émergence de tels agents, mais le déclencheur du processus est exogène.

2.4. Les interactions et leur contexte

Les approches précédentes proposaient des hypothèses minimales en matière d'organisation sociale. Les individus étaient confrontés de façon aléatoire ou appartenaient à des voisinages qui indiquaient des regroupements ou des proximités dont le fondement n'était pas explicite. Cette section propose des formalisations plus avancées des contextes dans lesquels se développent les interactions entre individus.

On progresse en réalisme lorsque les interactions entre individus sont inscrites dans une organisation sociale et qu'elles ne sont plus simplement des rencontres entre collections d'individus différenciées ou non. On peut alors s'interroger sur les relations qui peuvent s'établir entre les caractéristiques des systèmes sociaux et les normes qui émergent.

Une première représentation situe les individus dans une organisation, ici une organisation hiérarchique, qui contribue à définir les règles de comportement des agents. Une seconde représentation analyse des processus de différenciation des agents et en tire des enseignements sur la qualification des normes en termes de justice sociale.

2.4.1. Des interactions gouvernées par une organisation

Les travaux de J.E. Harrington se situent dans le contexte particulier d'organisations hiérarchiques, (Harrington, 1999). Ce type d'organisation induit une sélection des agents et incite à imiter ceux qui réussissent à gravir les échelons. La norme est ici une régularité de comportement. Elle est explicitée par une alternative : une norme de comportement « rigide » ou une norme de comportement « flexible » ou « adaptatif ». Cette distinction doit s'entendre sans jugement de valeur. Les comportements sont appréciés pour leur efficacité individuelle : un comportement rigide peut signifier être cohérent ; un comportement flexible peut résulter de choix inconstants...

Ici, ce sont moins les interactions des agents qui induisent des régularités de comportement, que des organisations qui façonnent les types de comportement efficaces des agents en interaction. Les différenciations entre individus sont définies par les places occupées dans ces organisations. L'idée directrice des formalisations proposées par J.E. Harrington est que les modes de comportement des acteurs qui sont au sommet d'une organisation sociale hiérarchique sont révélateurs des processus de sélection et d'avancement dans une hiérarchie. Par ailleurs, c'est

l'appartenance à un niveau hiérarchique qui définit le pouvoir et les comportements d'aspiration et d'imitation.

Une des caractéristiques de l'approche d'Harrington est d'intégrer dans sa formalisation de l'émergence de normes sociales, la transmission des régularités de comportement d'une génération à l'autre. Même si la « démographie »¹⁵ qu'il propose est très simplifiée, il s'agit bien d'indiquer qu'une norme sociale n'est pas attachée à une collection donnée d'individus, mais leur survit. Cette transmission est essentiellement assurée ici par le souvenir des comportements qui marchent, c'est-à-dire qui permettent de gravir les échelons de l'organisation.

La dynamique du système social décrite par J.R. Harrington repose sur la combinaison de deux processus : la sélection et l'apprentissage. L'apprentissage porte spécifiquement sur la connaissance des modes de comportement qui ne sont pas directement observables mais sont prêtés aux agents selon les décisions qu'ils prennent. La facilité d'une régularité de comportement à se faire repérer et la capacité des individus qui la soutiennent à se différencier et à émerger comme un groupe, interviennent dans sa diffusion. De ce point de vue, un mode de comportement rigide peut s'imposer comme norme, même lorsque l'environnement auquel sont confrontés les agents est fortement fluctuant. Ces hypothèses font que l'« imitabilité » des comportements est issue de l'interaction entre les agents ; elle est imparfaite car les agents se fondent pour imiter les autres sur des observations et pas sur les options individuelles entre un comportement rigide ou un comportement flexible, qui restent des informations privées. Enfin, les interactions entre agents se développant dans le cadre d'une organisation hiérarchique, l'apprentissage intègre des considérations de statut social.

L'apprentissage ne se fait pas entre égaux mais dans une société hiérarchisée où les agents apprennent de ceux qui sont au-dessus d'eux. L'émergence et la consolidation des normes sont alors fondées sur le croisement de plusieurs critères, qui peuvent être contradictoires, d'appréciation des comportements : leur lisibilité, la facilité à les imiter¹⁶, leur cohérence, leur efficacité apparente pour franchir les échelons de la hiérarchie.

La simulation du modèle est menée jusqu'à une stabilisation des valeurs des variables d'une génération à l'autre, d'après un écart maximum fixé *a priori*. Selon les valeurs des paramètres, la convergence est obtenue généralement au bout de 10 à 20 générations.

¹⁵ La démographie introduite dans cette modélisation est relative à une organisation hiérarchique qui intègre de nouveaux membres, qui « grandissent » et en sortent lorsqu'ils ne réussissent pas à être sélectionnés, ou sont trop anciens.

¹⁶ On imite plus facilement des gens prévisibles que des gens plus subtiles ; on pourrait trouver des contre exemples, surtout quand les agents rigides sont incompréhensibles, leurs comportements à la fois rigides, complexes ou indéchiffrables.

Le résultat principal de l'analyse de J. E. Harrington est que dans un système social organisé de façon hiérarchique et où les individus imitent ceux qui réussissent à s'élever dans cette hiérarchie, les comportements les plus rigides (c'est-à-dire les moins réactifs aux variations de leur environnement) apparaissent plus fréquemment, sont les plus résistants, et émergent plus souvent comme norme. Plus précisément, J.E. Harrington montre que si un système social hiérarchique a suffisamment de niveaux, alors son niveau le plus élevé sera dominé par des agents dont le comportement est relativement insensible à l'environnement, (Harrington ; 1999 ; p.42).

Une telle approche contribue à distinguer deux critères d'efficacité des normes : leur capacité à s'imposer et à se diffuser, et leur durabilité. Le fait de se concentrer sur des logiques internes aux organisations conduit à privilégier dans cette analyse le premier critère d'efficacité car la question de la concurrence entre systèmes sociaux alternatifs n'est pas posée. Si, *a priori*, l'instabilité de l'environnement favorise la réussite des agents "flexibles", la flexibilité ne sera pas nécessairement imitée. Dans une organisation hiérarchisée, c'est la constance des comportements qui semble prévaloir, et un environnement plus volatile permet aussi de mieux différencier les agents qui ont un comportement rigide, ce qui accroît la fidélité à la règle rigide¹⁷. Le poids de l'organisation hiérarchique peut donc très bien faire que l'instabilité de l'environnement dans lequel se développent les comportements individuels conduise paradoxalement à la prévalence d'une norme rigide. Mais la prévalence d'une norme rigide peut aussi entraîner une crise de l'organisation sociale qui n'aura pas su adopter les normes les plus efficaces socialement et non plus au niveau individuel.

2.4.2. La production endogène de différenciations sociales et la qualité des normes

L'approche suivante formalise la production de différenciations, endogène à la dynamique d'un système social. Il s'agit plus précisément de simuler l'émergence de classes discriminant les agents et d'examiner dans quelles conditions elles se stabilisent, en partant d'un état initial sans discrimination et sans différenciation.

L'ambivalence des normes peut alors être explicitée : discriminatoires et figeant des différenciations ou équitables et contribuant à l'homogénéité de populations. On se réfère dans cette section au modèle d'émergence de classes de R.L. Axtell, J.M. Epstein et H.P. Young, (Epstein, Young ; 2001).

Les hypothèses de ce modèle se distinguent des formalisations précédentes sur deux points. D'une part les anticipations sur lesquelles les agents fondent leurs choix, sont influencées par des signes extérieurs de différenciation (les *tags*) qui

¹⁷ Un comportement plus adaptatif peut brouiller l'interprétation qui en est faite par les autres agents et rendre plus difficile la reconnaissance des affinités ou des différences. Les appréciations de comportements « rigides » ou « flexibles » sont de l'ordre de la représentation et non de la compréhension effective des comportements : comme les « tags » que l'on évoquera ensuite, elles sont fondées sur des régularités d'observations.

n'ont *a priori* aucune signification sociale mais en prennent une au fur et à mesure des confrontations. D'autre part les propriétés des états indiqués comme « régimes » ne sont pas des propriétés asymptotiques comme dans les présentations de modèles analytiques. Les auteurs indiquent qu'asymptotiquement, le modèle converge plutôt vers des normes d'équité. Mais les états intermédiaires, qui peuvent s'installer sur une longue période, laissent plus de place aux normes inéquitables. Or ce sont ces périodes qui constituent l'essentiel de l'existence du système social représenté¹⁸.

Les interactions sont constituées de marchandages successifs où à chaque période, deux individus tirés au hasard sont confrontés à un partage de propriété. Ils décident en fonction de leur expérience et d'anticipations fondées sur des signes de différenciation ou *tags* qui *a priori* n'ont pas de signification économique ou sociale. Le jeu joué à chaque période est un jeu de demande où chacun des deux acteurs doit revendiquer une part en % d'une ressource. Si la somme des deux parts est inférieure ou égale à 100, les deux demandes sont satisfaites, sinon, les deux joueurs ne gagnent rien. Les demandes sont limitées pour simplifier à trois éventualités : 30, 50 ou 70 %. Le jeu de coordination admet trois équilibres de Nash correspondant à des demandes compatibles et répartissant intégralement la propriété (30,70), (50,50), (70,30).

Chaque agent conserve une mémoire (limitée) des rencontres passées ; elle lui sert à fonder ses anticipations. La règle de construction des anticipations consiste simplement à estimer à une période donnée les fréquences des différents choix possibles (30, 50 ou 70 %) selon les fréquences moyennes observées dans les périodes antérieures dans les limites du nombre de périodes qu'il garde en mémoire. On admet aussi qu'avec une faible probabilité, la part de propriété est revendiquée de manière aléatoire. Avec une forte probabilité, chaque agent choisit sa meilleure réponse compte tenu de ses anticipations.

La dynamique d'un tel système dépend de 3 paramètres : la dimension de la population, la capacité de mémoire individuelle et la probabilité d'un choix aléatoire¹⁹. L'hétérogénéité des acteurs est produite par leurs expériences différenciées qui fondent leurs représentations du comportement des autres acteurs et leurs anticipations. Ces représentations peuvent s'écarter fortement du comportement effectif des acteurs.

Sous ces hypothèses, on peut considérer qu'une norme sociale est atteinte lorsque la mémoire des comportements des acteurs se stabilise, ce qui entraîne aussi la confirmation des anticipations et la stabilisation des actions. En l'absence de différenciation entre les acteurs, la norme d'équité (50,50), est le seul équilibre du jeu et le point stable de la dynamique du système²⁰. L'introduction d'une part d'aléa

¹⁸ Les auteurs caractérisent cette propriété du processus comme une « rupture d'ergodicité », (Axtell, Epstein, Young ; 2001 ; p.200).

¹⁹ Ces paramètres définissent un processus de Markov.

²⁰ (Axtell, Epstein, Young ; 2001 ; p.196).

dans les comportements rend possible une déstabilisation de l'équilibre, ou une instabilité chronique, mais le système reste le plus souvent dans un état correspondant à la norme d'équité (il est nécessaire pour cela que la taille de la population et que l'étendue de la mémoire soient suffisantes et que la possibilité de choix aléatoire soit assez faible) : cet équilibre est stochastiquement stable. Le passage à cette norme peut cependant prendre très longtemps, selon l'état initial et le niveau de choix aléatoire.

En absence de différenciation des agents, deux régimes sont donc possibles : un régime équitable (chacun choisit la part médiane, aux comportements aléatoires près), et un régime conflictuel où les agents sont alternativement agressifs (c'est - à dire demandent une part élevée) ou passifs (c'est - à dire demandent une part réduite), sans qu'un compromis stable puisse se mettre en place. Parvenir au seul régime viable, c'est-à-dire à une norme équitable peut, selon l'état initial du système être très long. Les différenciations entre agents demandant beaucoup ou peu ne sont pas des caractéristiques des agents : elles changent d'une période à l'autre. Les *tags* vont figer ces différenciations et créer des « classes ».

La différenciation des acteurs, même si elle n'a pas, *a priori*, de signification sociale, change la donne. Les *tags* introduisent une différenciation minimale en permettant de repérer les agents selon un signe distinctif binaire. Par ailleurs, les règles de comportement suivent les mêmes hypothèses et sont identiques pour tous les agents. L'introduction de *tags* fait cependant que la référence de base pour les anticipations n'est plus la collection des actions passées et mémorisées, mais le comportement prêté aux groupes différenciés. Les actions antérieures fondent l'interprétation du comportement des différents groupes, mais désormais, dans chaque confrontation c'est l'appartenance à un groupe signalée par un *tag* qui est déterminante, même si ces groupes n'ont d'existence, au moins initialement, que par le signe extérieur de différenciation qui leur est imposé. La répartition des individus en groupes conduit à distinguer deux types d'équilibre : les équilibres entre les groupes et les équilibres à l'intérieur des groupes. Axtell, Epstein et Young, définissent l'équilibre entre les groupes par la stabilisation des mémoires des actions passées et des attentes sur des revendications compatibles : lorsque les membres de deux groupes différents sont confrontés, ils revendiquent l'un une proportion x de la propriété, et l'autre une proportion $1-x$. Un équilibre « intragroupe » est atteint lorsque la mémoire des actions passées et les anticipations sont telles que deux individus d'un même groupe revendiquent de façon stable une répartition égale (50, 50) de la propriété²¹.

Sous certaines conditions (mémoire importante des expériences passées et effectifs de la population grands relativement à cette mémoire), il est possible de montrer qu'un équilibre stochastiquement stable existe et qu'il correspond à une répartition équitable (50,50) aussi bien entre les groupes que pour chaque groupe, et

²¹ Ce qui introduit l'hypothèse supplémentaire que le groupe fonctionne selon un modèle égalitaire et non hiérarchique.

qu'il est observé avec une très forte probabilité si le comportement aléatoire est suffisamment faible. Cela n'empêche pas l'existence d'équilibres inéquitables et éventuellement des états instables persistants²².

Selon les conditions initiales, une norme d'équité peut prévaloir à l'intérieur des groupes, en même temps qu'une norme inéquitable entre les groupes. Cette configuration fige une relation hiérarchique entre les groupes et une segmentation en classes. Il est également possible, toujours selon les conditions initiales, qu'une segmentation entre classes émerge et qu'apparaissent des normes distinctes au sein d'un même groupe. L'important est que des classes peuvent durablement s'établir à partir des interactions entre agents, et de représentations sociales fortuites.

Les auteurs indiquent la difficulté d'estimer le temps nécessaire pour parvenir à une norme équitable en fonction des différentes valeurs des paramètres (dimension de la population, capacité de mémoire des agents, importance du comportement aléatoire). On peut ajouter que ce qui nous importerait aussi d'analyser, ce sont les relations que l'on peut établir entre les états initiaux du système social et son évolution vers des segmentations et des normes d'équité ou d'inégalité.

2.5. L'émergence des acteurs

2.5.1. L'émergence d'acteurs par agrégation d'acteurs individuels et la simulation « minimale » de lois macroéconomiques

Le modèle de R. Axtell, (Axtell, 1999), simule un scénario de développement industriel qui s'inscrit dans la méthodologie proposée par l'ouvrage de référence *Growing Artificial Societies*, de J.M. Epstein et R. Axtell, (Epstein, Axtell ; 1996). Il s'agit ici d'appliquer la modélisation multi-agents à la construction et à l'évolution d'organisations. L'intérêt de l'approche tient d'abord aux liens établis entre une analyse microéconomique des comportements des acteurs dans les firmes et de l'organisation des firmes, même avec des hypothèses minimales, et les phénomènes plus agrégés de croissance et de structure industrielles.

Selon les hypothèses du modèle²³, les individus sont dotés, comme dans les modèles microéconomiques d'offre de travail, de préférences entre les revenus issus du travail et le temps hors travail. Des rendements croissants sont associés à la coopération mais chaque agent prend ses décisions (niveau d'effort, appartenance à une entreprise ou création d'une nouvelle entreprise) en maximisant son utilité. Le choix par chaque agent de son niveau d'effort dépend des revenus qui lui sont liés, mais aussi des efforts produits par l'ensemble des agents de l'entreprise à laquelle il appartient.

²² (Axtell *et al.*, 2001 ; p.202) et (Young, 2003).

²³ Ces hypothèses font l'objet ici d'une présentation simplifiée qui permet cependant de spécifier la logique d'ensemble du modèle.

Les entreprises ne sont pas explicitement guidées par la maximisation de leur profit et les comportements d'optimisation sont le fait des individus, pas des organisations (les entreprises) auxquelles ils appartiennent. Les gains d'une entreprise sont répartis également entre ses membres. La sélection des entreprises repose sur leur capacité à verser des revenus suffisants relativement à la préférence relative de leurs membres pour le revenu.

La dynamique du système est constituée de l'évolution des coopérations entre les agents, d'abord une collection d'agents isolés, puis des agrégations de dimension variable d'agents coopérant à une même production. Cette démographie des entreprises indique des évolutions du nombre et de la taille des entreprises, leur création et leur disparition. La dynamique globale du système tient essentiellement au partage entre les comportements de *free-riding* (défavorables aux grandes entreprises) et les comportements de coopération liés aux rendements d'échelle (et favorables aux grandes entreprises).

Les grandes entreprises sont instables en raison de l'ajustement permanent des niveaux d'efforts des agents et des effets de *free-riding* associés aux grandes entreprises. Le *free-riding* entraîne des effets d'éviction. Un tel système ne développe pas de régime d'équilibre stable et les situations d'équilibre ne sont pas socialement les plus efficaces.

Cette modélisation permet, à partir d'hypothèses simples de comportement des agents, de simuler la « loi » macroéconomique de répartition des entreprises industrielles américaines selon leur taille. Les simulations du modèle conduisent à des répartitions stationnaires de la dimension des entreprises, selon une loi exponentielle, et de leur croissance. Des rendements constants sont obtenus au niveau macroéconomique. Les simulations fournissent des indicateurs sur les niveaux d'effort et la satisfaction des agents, le niveau de production globale et sa croissance, les revenus et leur répartition entre les agents, la durée de vie moyenne des entreprises.

Cette formalisation et la nature des résultats obtenus incitent à s'interroger, dans une logique de statistique mécanique, sur la recherche d'hypothèses minimales conduisant à des résultats donnés : il ne s'agit pas de proposer la modélisation la plus réaliste mais la plus simple compatible avec les données d'observation. On essaie de la sorte d'éviter de s'imposer une modélisation d'une complexité impossible à maîtriser et inutile au vu des résultats produits, notamment en termes de dynamique du système représenté. Dans le cas présent de la représentation de l'émergence des firmes, essayer par exemple de préciser quelles seraient les règles de comportement « rationnel » supposerait d'explicitement comment chaque agent prend en compte les variations incessantes de son environnement, ce qui s'avère rapidement illusoire (Axtell, 1999).

2.5.2. *La construction d'acteurs dans une perspective institutionnaliste*

La dernière contribution à une analyse économique des normes évoquée dans cette contribution se propose d'intégrer la méthodologie des systèmes multi-agents dans une problématique théorique de type institutionnaliste.

F. Cederman a développé un ensemble de recherches qui relèvent d'une approche constructiviste des relations internationales (Cederman, 1997). Il s'appuie sur diverses techniques formelles de modélisation, dont les systèmes complexes adaptatifs et la modélisation multi-agents. L'approche constructiviste conduit à mettre en évidence l'émergence des structures sociales et des acteurs, sans les supposer comme des données.

Le modèle de F. Cederman, que l'on commente plus précisément ici, s'inscrit dans une approche géopolitique (Cederman, 2001). Il s'agit d'analyser comment des normes communes, les « valeurs démocratiques », ont contribué historiquement à construire les Etats et l'espace des relations internationales.

F. Cederman a notamment tenté, en se référant à Kant, comment des processus de coopération fondés sur la reconnaissance de valeurs démocratiques partagées, d'alliance défensive contre les Etats non démocratiques et plus largement des accords collectifs en matière de sécurité peuvent rendre compte de l'extension des Etats démocratiques à partir de configurations initiales qui étaient *a priori* défavorables.

L'ambition de l'analyse est donc macro - historique et politique : dans quelles conditions émerge une « paix démocratique ».

Les agents sont eux-mêmes des entités complexes puisqu'ils représentent des Etats. La construction de la coopération repose essentiellement sur des interactions locales ; chaque Etat interagit d'abord avec ses voisins.

Sans reprendre le détail des hypothèses et des références théoriques à l'appui de la démarche de F. Cederman, on en reprend les éléments principaux.

Les actions des agents – Etats se développent selon une succession de phases :

1. L'initialisation du modèle répartit les Etats sur une grille de dimension donnée ; chaque case correspond à un Etat . Conformément à la proportion choisie de pays démocratiques, chaque Etat est désigné comme démocratique ou non démocratique. De même on fixe initialement une proportion de pays hégémoniques, qui concentrent toutes les ressources, alors que les autres Etats n'ont pas de ressources ;

2. L'affectation par chaque Etat de ses ressources, qui doivent être réparties entre ses différentes frontières (les frontières devant être prises dans un sens géopolitique et non pas strictement spatial). L'hypothèse est faite qu'une part donnée du total des ressources d'un Etat est répartie de façon égale entre la gestion des différentes frontières. Le reste est modulé selon les caractéristiques de chaque frontière : la puissance du pays frontalier et la nature des relations entretenues avec

lui. La première répartition est paramétrée initialement ; la seconde dépend de l'état des frontières. Il est supposé qu'un pays démocratique, repéré selon la logique précédente des *tags*, ne mobilise aucune ressource contre un autre pays démocratique.

3. Les décisions concernant les relations avec chaque pays voisin, conflictuelles ou pacifiques, sont fondées sur la puissance respective de chaque Etat (leurs ressources), le passé de leurs relations et leur statut démocratique ou non. Il est admis aussi que des risques de conflit non délibérés sont possibles.

4. Les répartitions des ressources et les décisions prises par les Etats modifient l'équilibre des pouvoirs entre les Etats. Les résultats sont exprimés ici relativement à l'issue des actions et des conflits : qui se poursuivent, qui s'arrêtent avec ou sans « vainqueur ».

5. De l'issue des interactions avec les autres Etats dépendent les ressources des Etats, après que l'étendue de leur souveraineté ait éventuellement été modifiée.

6. Les interactions entre les Etats ont aussi des implications « structurelles » au sens où elles entraînent des modifications de frontières et des relations entre le centre et les « provinces » : par absorption d'un Etat dans un autre, autonomisation de provinces, intégration de provinces.

Ce type de représentation intègre une transformation des acteurs endogène aux simulations : non seulement leurs ressources évoluent, mais aussi leur dimension, leur force relativement aux autres acteurs, et leur complexité (évolution de la composition centre - périphérie).

Les effets de *tags* ont ici pour fonction de permettre aux Etats démocratiques de se reconnaître et de faciliter les comportements de réciprocité. Par hypothèse, ces Etats économisent des ressources : ils ne s'attaquent pas entre eux et leurs frontières n'ont pas besoin de protéger leurs frontières. Par ailleurs, les réseaux se forment aussi de façon endogène, selon l'équilibre des forces de chaque Etat et de l'appréciation par chacun des menaces qui pèsent sur lui. Des alliances défensives sont alors constituées qui peuvent empêcher le déclenchement effectif d'un conflit ou en modifier l'issue. Enfin un accord de sécurité implicite entre les Etats démocratiques fait que si l'un d'entre eux est attaqué, il est soutenu par tous les autres. Cet accord est durable dans le temps, indépendamment des menaces ressenties ponctuellement.

La pertinence des hypothèses et de la méthode est appréciée, ici comme pour l'émergence des firmes, d'après la capacité à reproduire des données d'observation. Avec le modèle de F. Cederman, on explore de façon systématique des réseaux complexes créés avec de nombreux agents qui interagissent localement. L'ambition est alors de contribuer à une théorie générale avec des épisodes de stabilité mais aussi de transition et de crise, une théorie des transformations historiques. On analyse ainsi la *path dependency* des institutions et des formes culturelles, et les Etats et les nations comme des phénomènes émergents.

Les "phénomènes émergents" peuvent être décrits pour F. Cedermann à un niveau agrégé indépendamment des spécificités des agents, et persister sur une durée bien supérieure à celle qui permet aux interactions entre agents de se développer. On ne peut en rendre compte par une combinaison simple des caractéristiques des agents spécifiées selon une échelle spatiale ou temporelle.

Les travaux de F. Cedermann sont une illustration des capacités de l'analyse économique des normes à contribuer à des problématiques institutionnalistes d'économie appliquée. Ils montrent aussi l'intérêt de développer des interactions avec des approches théoriques élaborées sur un champ d'application donné, comme ici l'approche constructiviste des relations internationales.

3. Une analyse économique des normes

Les différentes formalisations élémentaires que l'on vient de passer en revue, sans prétendre à une présentation exhaustive, fournissent les éléments d'un puzzle à recomposer afin d'élaborer une analyse économique des normes. On se propose d'amorcer cette démarche dans cette seconde section. On procède en deux temps, d'abord en adoptant une présentation synthétique en termes d'approche multi - agents, l'objectif de notre démarche étant d'aboutir à un logiciel de simulation multi - agents de la dynamique des normes, puis en indiquant les principaux résultats auxquels conduisent ces travaux et comment ils se combinent.

3.1. Une caractérisation générale de l'analyse économique des normes en termes de simulations multi-agents

3.1.1. Le méta-modèle de référence

Afin de construire notre synthèse, on reprend dans ce paragraphe, le mode de présentation des « modèles individus – centrés », proposé par Frédéric Amblard sous forme de méta – modèle. Sa formulation nous permet une caractérisation rapide des modèles de l'analyse économique des normes que l'on vient d'évoquer.

Un méta-modèle est représenté par Frédéric Amblard par $M = \{A,G,E,S,T\}$ avec :

M : le méta modèle, représentant la base commune des modèles individus – centrés ;

A : l'ensemble des individus du modèle (ou agents) ;

G : le graphe d'interactions du modèle ;

E : l'environnement ou l'espace dans lequel sont situés les individus ;

S : les facteurs exogènes du modèle ;

T : le système de représentation et de gestion du temps retenu.

L'environnement « E » a une existence propre, indépendante des individus. Il s'agit d'un espace physique et non d'un espace social.

Un méta-modèle comporte une population d'agents :

$$A = \{A_i\}, i = 1, \dots, P, \text{ si le modèle comporte } P \text{ agents.}$$

spécifiés de la façon suivante :

$$A_i = \{X_i, f_i\}, \quad X_i : \text{ le vecteur des attributs de l'agent « } i \text{ » ;}$$

f_i : la fonction de transition d'état de l'agent « i ».

Les attributs des agents évoluent sous la forme générale de transitions :

$$X_i(t+1) = f_i(X_i(t), A(t), G(t), E(t), S(t))$$

La transition d'un état vers un autre dépend donc pour chaque agent, de son état initial, de l'état initial et des fonctions de transition des autres agents, de l'organisation des interactions existant entre les agents, de l'environnement et des éléments exogènes du modèle.

Pour chaque individu « i », on définit les valeurs de variables d'état X_i et comment elles évoluent d'une période t à une période $t+1$ selon des fonctions de transition f_i . Les variables d'état sont les mêmes pour l'ensemble de la population. L'hétérogénéité entre les individus est introduite au travers des valeurs de ces variables, et de leurs modes d'évolution.

Les modes d'évolution d'un état à l'autre sont définis pour chaque individu. Les transitions d'une période t à une période $t+1$ des états X_i d'un individu dépendent de l'état du système global en t (et éventuellement des états antérieurs), c'est-à-dire *a priori*, de l'ensemble des composantes du modèle à la période t (état des individus, réseau d'interactions, environnement et variables exogènes en t).

L'expression des transitions des états des individus entre deux périodes peut être spécifiée en tenant compte de relations de voisinages qui font que seule une partie de la population importe pour la transition d'un état à l'autre d'un individu donné. C'est ce dont rend compte le graphe d'interaction G. Ces relations de proximité sont prises en compte par Frédéric Amblard dans une formulation alternative de la fonction f_i :

$$X_i(t+1) = f_i(v(A(t), G(t)), E(t), S(t))$$

où « v » est une fonction de voisinage qui indique pour chaque agent « i », quels sont les agents avec lesquels cet agent « i » est en relation.

3.1.2. Une spécification du méta-modèle pour l'analyse économique des normes

Les hypothèses de l'analyse économique des normes précisent la structure générale du méta - modèle de simulation multi – agents de référence.

L'analyse économique des normes raisonne essentiellement avec une population finie d'agents dont les attributs représentent des choix possibles. La fonction de transition d'un état à l'autre pour un agent donné dépend de la répartition des autres agents entre les actions alternatives.

Les hypothèses de comportement des agents impliquent généralement que :

- les fonctions d'utilité des agents sont le plus souvent identiques.
- les choix sont guidés par des principes de meilleure réponse, avec éventuellement une dose de comportement aléatoire ;
- es modes de comportement agents sont cependant éventuellement différenciés par sous-groupes (Axtell, Epstein ; 1999). Le mode de comportement devient alors un attribut complémentaire de l'individu et une fonction de transition spécifique peut être associée à chaque type de comportement ;
- la fonction de transition peut aussi intégrer une modification du comportement des agents (Harrington, 1999 ;Cederman, 2001 ; Axtell, 1999).

En ce qui concerne **l'information disponible** pour le choix des agents, chaque agent sait comment les autres agents ont agi et les conséquences monétaires des choix alternatifs et de leur combinaison sont connues.

Les réseaux sociaux d'interaction sont déterminants et les règles de comportement se réfèrent à l'ensemble de la population ou à des voisinages prédéfinis.

- le réseau social des agents est représenté par un graphe qui peut éventuellement évoluer :

$$G(t+1) = \Gamma(A(t), G(t), E(t), S(t))$$

- les voisinages sont d'abord définis spatialement et selon les caractéristiques des graphes. Ils peuvent aussi être construits en référence à des attributs (Axtell et Epstein, 1999 ; Harrington, 1999) ou selon des « distances » (Boyer, Orléan ; 1994).

- lorsque, comme dans certaines analyses (Axtell, 1999 ; Cederman, 2001), les acteurs sont produits par l'évolution du système social, le graphique des relations s'applique à de nouvelles entités différentes des acteurs initiaux, qui sont des acteurs nouveaux ou construits par agrégation.

- une fonction de transition implique éventuellement une mise hors jeu des agents (Harrington, 1999) en cas d'échec, ou au bout d'une période donnée. La population d'agents est alors variable et la durabilité de l'organisation sociale doit être précisée.

L'Environnement évolue selon une forme générale :

$$E(t+1) = H(A(t), G(t), E(t), S(t))$$

- de fait, l'environnement est le plus souvent constant ou ses variations sont engendrées de façon aléatoire (Harrington, 1999).

- les facteurs exogènes $S(t)$ représentent essentiellement pour l'analyse économique des normes, les gains attachés aux choix alternatifs des agents.

Le temps T est la collection d'évènements qui marquent l'évolution du modèle.

- on a affaire dans les modèles de l'analyse économique des normes à un temps abstrait réglé par les interactions successives entre les agents. Il s'agit d'un temps « éclaté » au sens où chaque agent a son propre temps marqué par des évènements (l'actualisation du choix) qui surviennent éventuellement selon un processus aléatoire.

- les périodes de « T » correspondent aux choix successifs des agents. Les « évènements » sont l'état initial, l'émergence de normes locales ou globales.

- le temps abstrait des interactions entre agents peut cependant être doublé d'un temps chronologique réel (Axtell, Epstein ; 1999).

L'ensemble de ces hypothèses permet une approche préliminaire de l'analyse économique des normes. Des hypothèses alternatives peuvent ensuite être testées, et confrontées à des données d'observation. Telle quelle, elle fournit quelques pièces importantes du puzzle de l'analyse de l'émergence et de l'évolution des normes (Figure 1).

Le développement d'une analyse des normes selon une méthode de simulation multi-agents joue sur des combinaisons alternatives de ces hypothèses et tester l'impact d'hypothèses alternatives. Il peut d'ores et déjà s'appuyer sur un certain nombre de conclusions obtenues par les travaux de référence. Elles indiquent des résultats selon les hypothèses retenues, classés ici selon quatre grandes rubriques.

1. Les conditions de convergence vers une (des) norme(s)

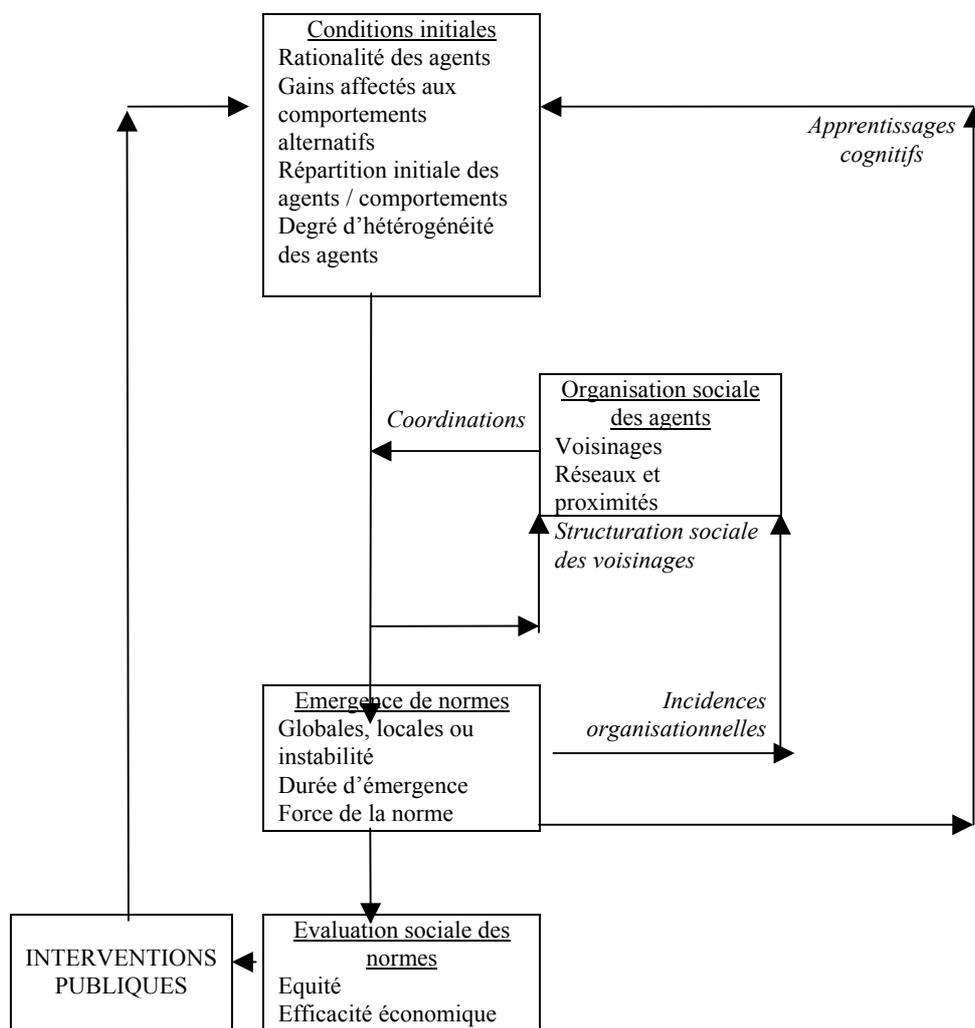
- Les comportements des agents dont les interactions ne sont pas organisées mais purement aléatoires et dont la rationalité est de seule meilleure réponse, peuvent éventuellement conduire, par conformisme à l'émergence de normes au sens de régularités de comportements. Selon les segmentations introduites dans les interactions entre agents, plusieurs normes peuvent coexister durablement, (Young, 2001).

- Les conditions initiales sont primordiales : les gains attachés à chaque comportement possible, mais aussi la répartition initiale des agents entre les comportements alternatifs. Est également déterminant l'ordre dans lequel les agents sont confrontés.

- La régularité des comportements, qui signale l'existence d'une norme, est seulement produite par des calculs économiques successifs et le jeu des interactions

entre agents, sans autre considération d'attachement pour le comportement qui émerge comme norme.

Figure 1. Eléments de l'analyse économique des normes : l'état du puzzle



2. La qualification de la norme

- La ou les normes, à laquelle ou auxquelles, parvient le système social sont des équilibres (états stationnaires) dont la qualité est la régularité et non l'optimalité sociale.

- La force d'une norme, c'est-à-dire sa capacité à s'imposer, même quand des choix alternatifs seraient plus efficaces, tient à l'effet masse tant que les agents sont indifférenciés. Sinon, c'est l'organisation des voisinages contribue à déterminer la vulnérabilité d'une norme.

- Un critère complémentaire de la force d'une norme tient à la réduction de l'effort d'information et de raisonnement que s'imposent les agents pour prendre une décision. Les individus, selon leurs relations de voisinage, sont inégaux relativement à cet effort. La cohérence sociale est de ce point de vue décisive.

3. L'organisation sociale et les normes

- La différenciation des agents passe par les réseaux de voisinages (avec qui ils entrent en interaction ?) mais aussi par la diversification de leurs fonctions d'utilité. Une différenciation renforcée des agents renforce le rôle des hypothèses initiales.

- Lorsque les interactions entre agents sont soumises à une structuration de l'espace social et à des effets de réseaux, le tissu des relations sociales devient déterminant dans la dynamique des normes, principalement pour les agents qui par la confrontation avec d'autres agents, peuvent faire la démonstration de la supériorité du comportement qu'ils ont choisi.

- Les voisinages n'ont pas de contenu social : ils ne font qu'indiquer les interactions possibles entre agents. Il n'y a pas non plus un attachement des agents à leurs voisinages : soit ils sont une donnée exogène, soit ils évoluent selon le résultat de calculs économiques. Une étape est franchie lorsque ces voisinages prennent un autre sens lié à des capacités de valorisation ou de sanction des décisions individuelles.

- Un développement important de l'analyse consiste à ne plus considérer les voisinages comme donnés, mais de les faire évoluer selon les affinités qui émergent entre les agents. L'organisation sociale est alors en partie produite par les processus de coordination.

- Les normes de comportement qui émergent de l'interaction des agents sont susceptibles d'aller à l'encontre de l'efficacité de l'organisation à laquelle ils appartiennent. La question est alors posée de savoir jusqu'à quel point la logique de coordination des agents intègre leur appartenance à cette organisation.

- Les interventions de politique publique, qui sont ici des interventions exogènes sur les systèmes sociaux, sont inefficaces s'elles agissent de façon indifférenciée sur tous les agents.

4. rationalité des agents « sociaux »

- La rationalité de chaque agent est moins décisive que l'apprentissage que permettent les interactions entre agents et que les conditions de l'émergence d'un « comportement social ». Les rationalités individuelles peuvent progresser et ce sont les effets de composition des rationalités des agents qui sont déterminants.

- De façon générale, l'analyse économique des normes privilégie l'organisation des interactions entre agents relativement à leur rationalité strictement individuelle. L'organisation sociale peut suppléer à une rationalité limitée. Ce qui ouvre la voie à une construction sociale de la rationalité des agents.

- Les agents ne réagissent qu'aux conséquences des décisions prises par les autres sans en connaître exactement les critères. Ils se réfèrent à des représentations des comportements et des appartenances sociales. Cela ajoute à l'incapacité d'établir des liens simples entre les comportements individuels et les phénomènes macro - sociaux.

- Les représentations produites par les processus d'interaction et de coordination sont créatrices de différenciations entre acteurs, « créées de toutes pièces » hors d'un fondement social. Sauf à en expliciter la genèse, elles peuvent être perturbatrices des dynamiques que l'on souhaite analyser.

- Un renversement de la démarche de l'analyse économique des normes, des comportements vers les normes, peut conduire à expliciter quelles hypothèses de rationalité individuelle sont compatibles avec les régularités observées. La rationalité individuelle est alors de fait endogénéisée, plutôt que posée *a priori*. Ce qui peut au moins conduire à souligner qu'il n'est pas nécessaire de prêter aux agents une rationalité trop sophistiquée pour rendre compte de la dynamique de systèmes sociaux.

Il s'en faut encore de beaucoup pour que les résultats que l'on vient de rappeler rendent justice à la complexité de la notion de « normes » utilisée en économie et analysée par les approches institutionnalistes. On dispose cependant déjà avec ce que l'on a désigné comme une « analyse économique des normes, de bases très stimulantes pour expliciter les liens entre les comportements d'acteurs individuels et des phénomènes macro-sociaux.

4. Conclusion

Les travaux rassemblés ici sous « l'analyse économique des normes » s'attachent à expliciter comment des agents en interaction développent des modes de coordination et des régularités de comportements. Selon une problématique d'individualisme méthodologique, ils développent des processus d'émergence de phénomènes sociaux de coordination irréductibles aux actions individuelles.

Si l'intérêt de telles simulations est de pouvoir tester l'impact d'hypothèses alternatives et de conditions initiales différentes sur l'évolution du système social, on peut aussi envisager une utilisation plus prospective. Une étape préalable importante

devrait être alors de construire des conditions initiales cohérentes et "réalistes". Il en est de même pour les hypothèses relatives aux interactions entre agents.

Au-delà de la flexibilité et du réalisme des modèles, la question est posée de la pertinence d'une méthode qui se limiterait à introduire l'une après l'autre des hypothèses présentées comme indépendantes. Ce risque peut être évité si la représentation sociale que le modélisateur se donne préalablement aux simulations est explicitée.

Or les réseaux sociaux sont d'abord produits dans ce type d'approche par les interactions entre agents. Ils s'établissent à partir de la répartition initiale des individus, des hypothèses sur le voisinage observé (les voisinages de type Von Neumann ou Moore par exemple), de la répartition initiale des dotations en ressources et des règles de mobilité appliquées. Ce sont d'abord les caractéristiques individuelles qui créent les segmentations "sociales". La signification de ces réseaux sociaux est alors assez particulière : ils s'avèrent très instables et sont reconfigurés au gré des déplacements individuels et des proximités qui émergent.

Les approches institutionnalistes auraient plutôt tendance à prendre les réseaux sociaux comme des données et à observer leur implication en termes de comportement. Cette distinction est peut-être atténuée si on ne considère pas que les réseaux sociaux sont définis à l'issue de chaque cycle de décision et si on garde la trace des voisinages fortuits : appartiendraient alors à un même réseau social, tous les agents qui à une période quelconque ont été dans le même voisinage.

La question de l'organisation des interactions sociales reste cependant entière, même si l'outil que constituent les modèles de simulation est assez souple pour permettre d'introduire des hypothèses alternatives et des éléments de structuration sociale prédéfinis. Il est notamment important de pouvoir introduire des hiérarchies dans la représentation des différents réseaux d'échange.

La signification des règles de comportement attribuées aux agents devrait être précisée. On devrait en particulier indiquer des bouclages entre ces règles et les normes produites par les interactions sociales. On touche aussi à cette question lorsque, à la suite d'interactions entre agents et entre les agents et leur environnement, l'environnement est modifié. D'autres règles devraient alors être utilisées par les agents. Cette production des règles locales selon l'évolution de l'environnement est un prolongement naturel.

Bien que l'approche multi-agents se présente comme étant de type *bottom-up*, allant des comportements des individus et de leur interaction vers les phénomènes sociaux, elle peut tout autant être considérée comme *top down* dans la mesure où elle peut aussi viser à indiquer comment il est possible de rendre compte de phénomènes sociaux à partir de règles simples de comportement affectées aux individus. Rejoignant l'analyse des systèmes complexes, il s'agit alors d'explicitier quelles sont les règles minimales qui permettent d'engendrer des macro-phénomènes observés.

Si l'analyse économique des normes sociales, au sens où nous l'avons définie, relève de l'individualisme méthodologique, elle contribue cependant à fonder un institutionnalisme qui n'est pas réductible au seul calcul rationnel ou au seul registre stratégique. Les comportements individuels se réfèrent à des positions sociales et à des normes existantes dont le suivi ou la transgression rejaillissent sur les positions initiales et sur le devenir des normes.

Les différents résultats déjà accumulés laissent espérer que ce que nous avons désigné comme une « analyse économique des normes » puisse se constituer en une méthodologie institutionnaliste originale. Les pièces du puzzle sont déjà conséquentes.

Bibliographie

- Amblard F., Comprendre le fonctionnement de simulations sociales individus-centrées Application à des modèles de dynamiques d'opinions, Thèse de Docteur d'Université, spécialité informatique, Université Blaise pascal Clermont III , N° D.U. 1468, 2003.
- Axtell R.L., The Emergence of Firms in a Population of Agents: Local Increasing Returns, Unstable Nash Equilibria, And Power Law Size Distributions, Working paper N° 3, june 1999, Center on Social and Economic Dynamics.
- Axtell R.L., Epstein J.M., Coordination in Transient Social Networks : An Agent-Based Computational Model of the Timing of Retirement, Working Paper n°1, may 1999, Center on Social and Economic Dynamics.
- Axtell R.L., Epstein J.M., Young H.P., The Emergence of Classes in a Multi-Agent Bargaining Model, in Durlauf Steven N., Young P. H. (eds), 2001.
- Bourgine P., Nadal J.-P. (eds), *Cognitive Economics. An Interdisciplinary Approach*, Berlin, Heidelberg, New-York, Springer – Verlag, 2004.
- Bowles S., *Microeconomics. Behavior, Institutions, and Evolution*, New York, Princeton and Oxford, Russel Sage Foundation, Princeton University Press, 2004.
- Boyer, R., Orléan A., « How do conventions evolve? », *Evolutionary Economics*, 2, 1992, p.165-177.
- Boyer R., Orléan A., « La transformation des conventions salariales entre théorie et histoire. D'Henry Ford au fordisme », *Revue Economique*, vol.42 (n°2), 1991, p. 233-272.
- Cederman L.-E., «Modeling the Democratic Peace as a Kantian Selection Process», *The Journal of Conflict Resolution*, Vol. 45, No. 4 (Aug.), 2001, p. 470-502.
- Cederman L.-E., *Emergent Actors: How States and Nations Develop and Dissolve*, Princeton, Princeton University Press, 1997
- Durlauf S. N., Young P. H. (eds), *Social Dynamics*, Washington, D.C., Brookings Institution Press, 2001.
- Durlauf S. N., Young P. H., The New Social Economics, in Durlauf Steven N., Young P. H. (eds), 2001.

- Elster J., «Social Norms and Economic Theory», *Journal of Economic Perspectives*. 3, 1989, p. 99-117.
- Epstein, J.M., «Learning to Be Thoughtless: Social Norms and Individual Computation», *Computational Economics*, 18, 2001, p. 9-24.
- Epstein J.M. Axtell R., *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*, Washington D.C., Cambridge, Massachusetts & London, England, Brookings Institution Press, The MIT Press, 1996.
- Harrington Jr, J.E., «Rigidity of Social Systems», *Journal of Political Economy*, vol.107 (n°1), 1999, p.40-64.
- Schelling T.C., *Micromotives and Macrobehavior*, New York, London, W.W. Norton & Company, 1978.
- Schotter A., *The economic theory of social institutions*, Cambridge University Press, 1981.
- Sugden R., «Spontaneous Order», *Journal of Economic Perspective*, 3, 1989, p. 85-97.
- Théret B., «Institutionnalismes et structuralismes: oppositions, substitutions ou affinités électives? », *Cahiers d'Economie Politique*, décembre, 2002.
- Young H.P., The Dynamics of Conformity, in Durlauf Steven N., Young P. H. (eds), 2001.
- Young H.P., *Individual Strategy and Social Structure*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1998.
- Young H.P., «The economics of convention», *Journal of Economic Perspectives*. 10, 1996, p. 105-22.
- Zimmermann J.-B., Social Networks and Economic Dynamics, in Bourguin P., Nadal J.-P. (eds), 2004.