

Contagion*

P. Solal, J.M. Tallon, J.C. Vergnaud

19 avril 2007

1 Introduction

Que ce soit sur le marché de l'immobilier ou les marchés financiers, ou encore en ce qui concerne le succès commercial d'un produit, il n'est pas rare de constater des phénomènes de type "boule de neige". Par exemple, les prix sur le marché immobilier français ont connu une hausse impressionnante, période durant laquelle il existait, jusqu'à récemment, un large consensus sur le fait que les prix allaient continuer de monter. Le succès commercial d'un produit est souvent largement dépendant de sa part de marché, alors même que les caractéristiques d'autres produits sont très similaires. Le processus semble se nourrir lui-même : le consensus sur la hausse des prix immobiliers est une des sources de cette hausse, le succès d'un produit rend le produit encore plus à succès. Dans ces situations, une forme de contagion semble à l'œuvre. D'une manière ou d'une autre, le comportement d'un agent est influencé par les comportements d'autres agents, que ces comportements soient passés ou anticipés, et une forme d'homogénéisation des comportements dans une population d'agents est à l'œuvre.

Quelle est la source de cette convergence des comportements ? L'explication la plus directe est celle d'une préférence pour le conformisme ou encore un effet de mode. Cette explication ne paraît toutefois pas entièrement pertinente pour les exemples évoqués. De même, ce n'est pas seulement une homogénéité initiale des agents qui pourrait expliquer cette uniformité des

*P. Solal est au Creuset, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, J.M. Tallon et J.C. Vergnaud sont au Université Paris I Panthéon-Sorbonne, CNRS, Ecole d'Economie de Paris. Le travail a été réalisé grâce au soutien de l'ACI SCSHS-2004-04. Les auteurs remercient également Michel Bellet pour ses suggestions.

comportements. Au contraire, il est raisonnable de penser que l'hétérogénéité des agents est plutôt de mise, chacun possédant initialement des informations spécifiques voire des goûts différents. Il faut donc chercher des explications moins directes pour expliquer comment peuvent émerger des comportements *in fine* très similaires. Une explication possible que nous allons développer dans ce texte repose sur l'idée d'information incomplète. Par exemple, si l'information sur l'environnement est distribuée entre les agents, il est naturel de penser que chaque agent, possédant une information privée, tente d'inférer les informations des autres agents en observant leurs comportements. Si cette recherche d'information aboutit, une convergence des "croyances" des agents peut se mettre en place et permettre d'expliquer l'homogénéisation des comportements dans la population. Cette homogénéisation des comportements se comprend également comme un processus de contagion. La contagion est donc ici définie comme le processus conduisant à l'émergence puis à la diffusion de comportements convergents dans une population. Cette définition est spécifique en ce qu'elle intègre une contagion qui ne passe pas nécessairement par un contact physique entre agents : elle est donc plus large qu'une définition issue d'analogies médicales ou biologiques. Par exemple, si les agents ont des capacités à formuler des croyances sophistiquées sur les croyances et les actions des autres agents de la population, le mécanisme de rectification des croyances jouent un rôle décisif dans le déroulement du processus de contagion. *A contrario*, si cette capacité à mener des raisonnements sophistiqués est défaillante, il faut que des mécanismes de communication réels suppléent aux mécanismes de rectification des croyances. Ainsi, la projection mentale sur les acteurs de l'interaction est ici plus limitée, mais compensée par l'enregistrement de données factuelles, générées par l'interaction effective, qui incitent les acteurs à reproduire progressivement certains comportements jugés efficaces.

Deux approches peuvent en effet être distinguées, chacune fournissant un éclairage différent sur ce phénomène. La première approche, dite éductive, décrit un processus de "tâtonnement mental". Elle repose sur l'idée que les agents peuvent formuler des croyances sophistiquées (non seulement sur les caractéristiques d'un produit ou d'un agent, mais également sur ce que les autres agents pensent de ces caractéristiques, sur ce que les autres agents pensent sur les croyances, etc) et les réviser au fur et à mesure que de nouvelles observations sont disponibles. La révision des croyances portent non

seulement sur les croyances de premier ordre (sur les caractéristiques d'un produit) mais aussi sur les croyances d'ordre supérieur (ce que les autres agents pensent de ces caractéristiques, sur ce que les autres agents pensent sur les croyances, etc). La révision de ces croyances sophistiquées suppose des capacités importantes à mener des raisonnements, partagées et reconnues : l'agent sait raisonner, sait que les autres savent raisonner, sait que les autres savent que les autres savent raisonner, etc. Le processus de révision se fait dans le temps du raisonnement. Cette approche recourt à une notion d'équilibre qui assure la cohérence de ces raisonnements. En général dans ce genre de modèles, il y a émergence d'un consensus que l'on peut assimiler à une contagion des croyances. La seconde approche, dite évolutionnaire, repose au contraire sur l'idée que les agents ont une représentation assez limitée de leur environnement et ne formulent pas de croyances très sophistiquées sur la nature de l'environnement et le comportement des autres agents dans la population. Si les agents détiennent des croyances sur l'environnement, par exemple sur les caractéristiques des produits sur un marché, ils sont incapables de combler efficacement leur déficit en information et surtout de concevoir des croyances sur les croyances des autres agents. Dans ce cas, l'homogénéisation des comportements est le résultat d'un processus d'adaptation de type essai-erreur mis en mouvement par la récurrence des interactions entre les agents. Dans le cas limite où les capacités des agents à raisonner est nulle, la contagion peut être déclenchée par des contacts répétés entre les agents qui se transmettent des actions de façon automatique : la contagion concerne donc exclusivement des actions. Si les agents ont des capacités cognitives plus sophistiquées, c'est-à-dire peuvent former des croyances sur l'évolution de leur environnement, la contagion concerne à la fois les croyances et les actions. Dans tous les cas, les faiblesses cognitives des agents sont compensées par des structures spécifiques d'interaction et de communication d'information factuelle. Ces structures d'information et/ou d'interaction sont le plus souvent représentées par des réseaux.

Dans la première section de ce chapitre, nous exposerons brièvement ces deux approches, éductive et évolutionnaire, du phénomène de contagion. Le cadre type sera celui de la théorie des jeux même si nous évoquerons également des phénomènes de marché. Nous nous livrerons ensuite à une confrontation à la fois théorique et empirique de ces approches et terminerons en étudiant l'influence du contexte (nature de l'information, structure de réseaux, etc) sur la propagation d'un comportement particulier.

2 Présentation des approches

2.1 Modèles évolutionnaires

Dans l'approche évolutionnaire type, une population d'agents, non parfaitement rationnels, est appelée à jouer un jeu sous forme stratégique de manière récurrente. L'objectif est d'étudier le comportement asymptotique d'un processus dynamique généré par la récurrence d'une situation d'interaction stratégique entre ces agents. L'information distribuée aux agents sur la nature de l'environnement est incomplète, à un point tel qu'il est possible de concevoir des situations dans lesquelles les agents ne comprennent pas exactement la manière dont leurs gains sont générés. Par exemple, si des firmes en concurrence sur un marché n'ont pas d'information sur le nombre exact de leurs concurrents, sur leurs caractéristiques technologiques, voire même sur la relation qui unit la demande et les prix du marché, elles seront incapables d'envisager les conséquences à long terme d'une modification de leur action. Plutôt que de tenter de combler ce déficit informationnel, qui nécessiterait de mettre en place des procédures de recherche hors de portée pour ces agents, l'information factuelle, délivrée au cours de la répétition des interactions, est mobilisée pour la prise de décision. Les agents enregistrent des informations sur la séquence des actions mises en oeuvre et des gains réalisés dans le passé par l'ensemble ou une partie de la population. Une fois cette information mémorisée, les agents adaptent leur action dans le but d'optimiser ou d'améliorer leur gain à court terme, et ceci, en faisant l'hypothèse que l'environnement est stationnaire. Les interactions mimétiques sont un exemple de processus évolutionnaire dont les fondements peuvent être variés. En effet, un agent imite l'action d'un autre agent parce qu'il croit que ce dernier est plus avisé que lui-même, ou encore, un agent imite l'action d'un autre agent parce qu'il est informé de la popularité de cette action et sait que son gain dépend positivement de cette popularité¹.

Un processus dynamique qui vient immédiatement à l'esprit lorsque l'on emploie le terme "évolutionnaire" est celui qui sélectionne graduellement les actions les plus performantes dans la population. On peut, par exemple, prendre le point de vue qu'une action est l'expression d'une caractéristique

¹Sur les différents motifs qui incitent les agents à se comporter comme des imitateurs, nous renvoyons le lecteur au chapitre 5 de l'ouvrage dirigé par J. Lesourne, A. Orléan et B. Walliser (2002).

contagieuse d'un agent, et que ces agents, en interagissant physiquement les uns avec les autres, stimulent un processus de contagion des actions dans une population de la manière suivante : un contact physique entre deux agents est représenté par un jeu à deux joueurs ; l'opportunité qu'un agent ait plusieurs contacts à un point du temps est négligeable ; la fréquence d'une paire d'actions dans la population détermine la probabilité de contact de cette paire d'actions (plus ces actions sont nombreuses dans la population plus la probabilité qu'elles entrent en contact par le truchement de l'interaction physique entre deux agents est élevée) ; lorsque deux agents sont en contact, la probabilité avec laquelle l'action de l'un des deux agents considéré contamine le second agent est une fonction croissante de son gain espéré courant et décroissante du gain espéré courant du second agent dans la population. Weibull (1995, pp.191-193) spécifie les probabilités de contagion de manière à ce que la variation instantanée (en moyenne) de la fréquence d'une action dans la population soit positive si et seulement si le gain espéré de cette action est supérieur à la moyenne des gains espérés de la population. Dans ce cas, la dynamique de contagion d'une action simule (en moyenne) la dynamique dite du répliqueur, dont les propriétés sont désormais bien connues. La dynamique du répliqueur indique que le taux de croissance instantané de la fréquence d'une action dans la population est égale à la différence entre le gain espéré de cette action et la moyenne des gains espérés dans la population. Ce modèle épidémiologique, comme la plupart des modèles d'inspiration biologique, décrit l'évolution de la fréquence des stratégies dans une population au sein de laquelle le rôle de la dimension cognitive dans la transmission d'une action est nul.

Une autre manière d'aborder la question de la contagion, sans doute plus naturelle pour un économiste, est de rendre explicite la procédure qui amène l'agent à modifier délibérément son action. Comme nous l'avons souligné plus haut, la nature de cette procédure est essentiellement adaptative et n'intègre pas des éléments de contrôle des actions des opposants. Précisément, l'information sur la structure du jeu (nombre de joueurs, rationalité des joueurs, actions disponibles, fonctions de gains) est fragmentée entre les agents. De plus, la rationalité de chacun de ces agents est suffisamment restreinte pour qu'ils ne soient pas en mesure de combler progressivement ce déficit en information afin de formuler des croyances cohérentes sur l'évolution possible des profils d'actions pour ensuite tenter de les contrôler. Au contraire, dans ces

modèles, les agents croient que l'environnement, ou plus exactement ce qu'ils en perçoivent, est stationnaire. Les agents se limitent à utiliser de l'information sur l'histoire du jeu pour adapter leur comportement en supposant que l'environnement n'évoluera plus et n'apprennent rien de plus sur la structure du jeu que ce qu'ils savent à la période initiale. Ainsi, lorsqu'un tel processus d'adaptation converge vers une situation d'équilibre (comme par exemple un équilibre de Nash) cela ne signifie pas que les agents ont appris individuellement à le jouer, mais que la répétition des interactions et la dispersion de l'information (structurelle et factuelle) ont favorisé l'émergence spontanée de cet équilibre. Une action est ici qualifiée de contagieuse, car une fois jouée par un nombre suffisant d'agents de la population, elle génère des incitations à la renforcer, l'imiter ou la reproduire dans le temps, voire également dans l'espace si la population est structurée en réseau.

Reprenons l'exemple du succès commercial d'un produit évoqué en introduction. Imaginons que deux produits, A et B , aux caractéristiques similaires mais mal connues par les agents d'une population soient disponibles sur le marché. A chaque période, un agent quelconque de la population reçoit l'opportunité d'observer le comportement d'un autre agent dans la population et décide de le copier, c'est-à-dire que cet observateur décide d'adopter le produit consommé par l'agent observé. En l'absence d'erreurs de copie, ce processus d'imitation converge vers une situation où tous les agents consomment le même produit. En effet, tant que les deux produits sont consommés sur le marché, il existe une probabilité non nulle qu'un agent consommant le produit A observe un agent consommant le produit B et donc l'imité. En conséquence, toute situation où les deux produits sont consommés dans la population est instable. Par contre, on comprend bien que dans une situation où tous les agents consomment le même produit, A ou B , il n'existe plus de possibilité de consommer le produit concurrent puisqu'il est impossible de l'observer. La seule possibilité de réintroduire le produit concurrent serait qu'un agent fasse une erreur de copie suite à son observation ou qu'un nouvel entrant, ignorant du mode de consommation des agents sur le marché, décide de l'adopter. Mais en l'absence de telles perturbations, ce processus d'imitation conduit nécessairement à l'élimination complète d'un produit. Ce processus de sélection d'un produit peut prendre du temps. Cependant, il doit être clair que si la population est initialement composée à 98 % de consommateurs du produit, disons A , la probabilité que le produit B contamine la

population est beaucoup plus faible que la propagation complète du produit A . Autrement dit, le choix initial des agents a un impact sur les probabilités d'absorption du système dans les états stables. Le modèle de Kirman (1993) est similaire à ce processus d'imitation à ceci près qu'une faible probabilité d'erreur dans la copie du comportement observé est introduite. Dans ce cas, la contamination complète d'un produit dans la population ne correspond plus à un état stable puisque chaque agent a la possibilité de réintroduire le produit éliminé par le processus d'imitation en réalisant une erreur de copie. Cette situation, bien que de faible occurrence, modifie la nature du processus stochastique. Kirman (1993) montre que lorsque la probabilité d'erreur de copie est suffisamment faible, ce processus d'imitation-erreur converge vers une configuration mixte stable indépendamment des conditions initiales. On peut interpréter cette configuration mixte comme suit : une phase de contamination complète d'un produit alterne avec une phase de contamination complète du produit concurrent. Des cycles stochastiques de vie des produits se mettent donc en place de la même manière qu'un phénomène de mode réapparaît toujours après un laps de temps suffisamment long. Si dans cet exemple l'imitation est de nature informationnelle, on peut néanmoins obtenir des phénomènes de contagion similaires en introduisant des procédures d'imitation plus sophistiquées (imitation de l'action observée seulement si elle produit un meilleur gain que l'action courante, imitation des meilleures actions disponibles dans la population, etc).

2.2 Approche éductive

Les actions prises par des agents dotés de capacités cognitives fortes dépendent crucialement de leurs croyances sur le monde dans lequel ils évoluent. Ceci est évidemment vrai dans le cadre simple de la théorie de la décision individuelle, dans lequel l'agent est "seul au monde", mais prend une dimension supplémentaire lorsqu'il est en situation d'interaction avec d'autres agents, eux-mêmes dotés de capacités cognitives fortes. Il est alors nécessaire de développer un formalisme permettant de rendre explicites les croyances des agents, et notamment les croyances des uns sur les croyances ou actions des autres, ceci en itérant à l'infini. Le modèle canonique en économie permettant de représenter de manière élégante mais très abstraite cette hiérarchie *a priori* infinie de croyances est communément appelée "structure d'Aumann" et constitue un cas particulier de structures de Kripke développées en logique

modale. L'intérêt de ces structures abstraites est qu'elles permettent de capturer l'ensemble des croyances croisées des agents de manière parfaitement cohérente. Elles permettent aussi de définir une notion de connaissance commune, cruciale en théorie des jeux. Rappelons brièvement qu'une action ou une information est connaissance commune pour un état donné des croyances si tout le monde sait que tout le monde sait (...) que cette information est vraie ou que cette action a été choisie (voir chapitre d'Antoine Billot dans ce volume). On considère deux exemples.

Considérons une situation dans laquelle les paiements des agents ne dépendent pas de ce que font les autres : j'observe les actions d'autres agents, essaie d'en inférer une information utile pour ma décision et prends celle-ci sans me soucier de ce qu'elle va révéler de ce que je sais. Dans ces conditions, les croyances des différents agents vont-elles converger ? C'est en général le cas, notamment en ce qui concerne les modèles d'apprentissage social développés à la suite de Banerjee (1992) et de Bikhchandani, Hirshleifer, Welch (1992). En particulier, il est possible d'observer des "cascades informationnelles" où l'information privée des premiers agents à prendre une décision est celle qui dicte ensuite le comportement de tous les agents (voir Chamley, 2004).

Pour illustrer ceci, revenons sur notre exemple de choix entre deux produits A et B . Imaginons qu'un agent ait une information, relativement peu précise, sur la qualité des produits. Il suppose que les autres agents ont également une information sur la qualité de ces produits et qu'ils agissent en conséquence. S'il observe qu'un nombre important d'agents ont acheté le produit A plutôt que le produit B , il va en inférer que les informations en faveur de A sont plus nombreuses que les informations en faveur de B . En réalisant un calcul "rationnel", notre agent peut alors acheter le produit A alors même que son information privée favorisait le produit B . Ce faisant, il adopte un comportement moutonnier puisqu'il va choisir le produit choisi majoritairement par les autres consommateurs et non celui qu'il aurait choisi en tenant compte uniquement de son information privée. Ce comportement est rationnel du point de vue individuel, chaque agent optimisant compte tenu de ce qu'il peut observer². Ceci n'est pas sans conséquence pour les consommateurs qui lui succèdent dans la décision d'achat d'un des deux pro-

²Ce comportement individuellement rationnel peut conduire à un équilibre sous-optimal.

duits. En effet, sa décision d'achat ne révèle aucune information : quelle que soit l'information privée dont il dispose, il fait le même choix. Une dynamique des décisions d'achat se met donc en place dont le résultat dépend beaucoup des décisions des premiers consommateurs. Cette dynamique converge vers une situation de consensus dans laquelle tous les agents prennent la même décision.

Une autre forme de contagion éductive, plus subtile car nécessitant des capacités de raisonnement plus sophistiquées que dans l'exemple précédent, peut voir le jour dans des jeux en information incomplète ; contagion dont l'archétype est le jeu du courrier électronique de Rubinstein (1989). Imaginons que la situation dans laquelle évoluent les agents puisse se décrire comme un jeu qui posséderait plusieurs équilibres (par exemple un jeu de coordination). Si les agents ne sont pas totalement sûrs du jeu qu'ils sont en train de jouer (par exemple, ils ont un doute sur les paiements dans ce jeu), alors la prise en compte de cette incertitude conduit sous certaines conditions à la sélection d'un et un seul équilibre du jeu. Cette sélection se fait en temps virtuel puisqu'elle résulte uniquement d'un processus mental d'élimination itérée des actions dominées. Dans le cadre simple d'un jeu à deux joueurs, l'équilibre ainsi sélectionné est celui qui est appelé dominant en risque³. Jouer l'action qui correspond à l'équilibre dominant en risque est en effet une réponse rationnelle à l'incertitude qui entoure le choix de l'action de l'autre joueur, si les paiements du jeu sous-jacent sont imparfaitement connus.

On peut revenir sur notre exemple des deux produits A et B . Supposons que le produit A soit le meilleur à condition que les deux agents l'adoptent. Quant au produit B , c'est un produit inférieur mais sans risque stratégique. En information complète, il y a deux équilibres de Nash possibles alors que s'il y a une incertitude (aussi faible soit-elle) sur le fait que le produit A soit vraiment le meilleur, alors il n'y a plus qu'un équilibre possible : B est adopté.

Ce type d'analyse peut être (et a été) généralisé à une classe de jeux plus étendue. Il est possible de montrer pour une classe de jeux pertinente pour l'économiste - les jeux possédant des complémentarités stratégiques⁴ -

³L'équilibre dominant en risque correspond à des actions qui restent des meilleures réponses si chaque joueur n'est pas certain de l'action jouée par l'autre.

⁴Un jeu sous forme stratégique possède des complémentarités stratégiques si, étant donné un classement partiel des actions de chaque joueur, une augmentation de l'action d'au moins un joueur a pour effet d'inciter les autres joueurs à ne pas modifier à la baisse

que l'introduction d'une information incomplète, aussi minime soit-elle, permet de sélectionner un unique équilibre et donc d'affiner les prédictions qui peuvent être faites sur la base de ces modèles. Les jeux exhibant des complémentarités stratégiques sont nombreux en économie industrielle. Le lecteur pourra consulter Vives (2005a,b) pour de récentes revues de la littérature théorique sur le sujet.

3 Confrontation des approches

L'approche évolutionnaire et l'approche éductive, bien que très différentes en termes d'hypothèses sur la rationalité des agents, partagent une "dynamique" commune. Dans le détail de la formalisation, les deux dynamiques d'évolution sont très proches. Morris (2000) a reconnu cette similarité et a poussé formellement cette analogie. Il considère un processus évolutionnaire de contagion des comportements dans un réseau d'agents. Les agents sont assimilés aux noeuds du réseau et ont deux actions à leur disposition. Ce réseau d'agents est une réinterprétation d'une structure de croyance à la Aumann, et le processus évolutionnaire est la contrepartie du processus éductif d'évolution des croyances dans la structure à la Aumann. Morris obtient des résultats communs aux deux cadres formels. Il observe notamment que, de même que le comportement d'une minorité peut se propager selon un mode de contagion évolutionnaire, l'introduction d'une petite incertitude dans les croyances peut se propager selon un mode de contagion par raisonnement éductif et engendrer des conséquences similaires.

Cette similarité formelle se traduit dans d'autres situations par des prédictions théoriques identiques. C'est le cas pour certains résultats de sélection d'équilibre en théorie des jeux. Pour un jeu à deux joueurs et deux actions qui comprend à la fois un équilibre dominant en risque et un équilibre dominant au sens de Pareto, les deux approches prédisent l'émergence de l'équilibre dominant en risque. Généralisant le jeu du courrier électronique de Rubinstein, l'approche éductive développée par Carlsson et van Damme (1993) indique que seul l'équilibre dominant en risque est robuste à une légère perturbation de la connaissance du jeu. Parallèlement, Young (1993), en utilisant une approche évolutionnaire, obtient également que l'équilibre dominant en

leur action. Par exemple, supposons que les joueurs soient des firmes et que les actions représentent des prix. Si le prix optimal fixé par chaque firme est une fonction croissante du prix de ses concurrentes, alors le jeu possède des complémentarités stratégiques.

risque est le seul équilibre stochastiquement stable d'un processus de "fictitious play", dans lequel les agents ont une mémoire de taille limitée et échantillonnent des actions dans cette mémoire⁵. En traçant ce parallèle, il faut cependant observer que l'incertitude initiale porte sur des objets différents : dans l'approche éductive, l'incertitude porte uniquement sur le jeu réellement joué tandis que dans l'approche évolutionnaire, l'incertitude concerne également les actions jouées dans le passé par les opposants (incertitude modélisée à travers les hypothèses de mémoire limitée et d'échantillonnage des actions). En d'autres termes, l'incertitude factuelle s'ajoute à l'incertitude structurelle.

Si les deux approches fournissent des prédictions équivalentes sur l'issue des processus de contagion, elles diffèrent par contre en ce qui concerne la vitesse de contagion. Le processus éductif est un mécanisme atemporel dont on peut imaginer qu'il est en pratique quasi-instantané, demandant juste le temps de la réflexion. Au contraire, le processus évolutionnaire s'inscrit dans une histoire et le nombre de périodes nécessaires pour que la contagion se réalise peut être important. Les deux processus se distinguent également dans leur rapport au temps. Dans le processus évolutionnaire, l'évolution présente dépend de l'histoire du jeu, les agents utilisant l'information factuelle pour prendre leur décision pour la période suivante. Au contraire, dans le processus éductif, le rôle des anticipations sur les conséquences des choix présents est essentiel. Etant données ces deux différences, l'approche éductive prédit une contagion plus rapide et plus précoce que l'approche évolutionnaire.

C'est bien ce résultat qu'obtiennent Frankel et Pauzner (2002) dans un modèle de ségrégation urbaine. Les auteurs reprennent le modèle de ségrégation de Schelling où deux types d'agents, disons A et B , ont des préférences sur la composition de leurs voisinage : ils préfèrent plutôt vivre dans un voi-

⁵Dans un processus de "fictitious play" chaque joueur croit que ses opposants exécutent une action mixte stationnaire. Afin d'estimer ces actions mixtes, chaque joueur enregistre la fréquence empirique des actions jouées par chacun de ses opposants au cours des différentes itérations du jeu. Cette information factuelle lui permet de construire à chaque point du temps une action mixte pour chacun de ses opposants. Cette collection d'actions mixtes constitue son estimation ou sa croyance sur les choix de ses opposants. Ensuite, chaque joueur choisit une réponse optimale face à cette croyance. La mémoire d'un joueur est limitée lorsqu'il garde en mémoire uniquement les informations factuelles collectées au cours des plus récentes itérations du jeu. Dans ce cas, le joueur construira sa croyance à partir de cette information factuelle incomplète. La procédure d'échantillonnage consiste à tirer aléatoirement des informations dans cette mémoire. Ainsi, non seulement l'information factuelle gardée en mémoire est incomplète, mais l'information réellement utilisée pour construire la croyance est le résultat d'une expérience aléatoire.

sinage qui leur ressemble. Frankel et Pauzner introduisent dans leur modèle un bien public local pour lequel les deux types d'agents ont des préférences différentes. Les auteurs considèrent ensuite un quartier peuplé initialement d'agents A dans lequel le bien public est favorable à ces agents. Enfin, ils font l'hypothèse que la nature du bien public change et devient plus favorable aux agents B . Si les agents ont des comportements myopes, les agents A commenceront à fuir le quartier une fois constatée la dégradation de leur quartier : la structure de la population se modifie et le bien public ne leur est plus favorable. Supposons qu'un agent A , moins myope, fasse des anticipations sur l'évolution de la composition du quartier et se rende compte de l'inévitabilité de cette évolution. Il s'aperçoit alors qu'il n'a pas intérêt à attendre le moment où la composition du quartier basculera mais que son intérêt est de partir un peu avant, s'il en la possibilité. Mais si tous les agents forment des anticipations allant dans ce sens, tous vont aboutir à la même conclusion et, dans ce cas, le quartier se dégradera encore plus vite. Si un agent A se doute du raisonnement des autres agents, il se rendra compte qu'il doit partir encore plus tôt. Au total, l'équilibre avec anticipations rationnelles prévoit une fuite des agents A beaucoup plus précoce que l'équilibre obtenu avec des comportements myopes et, inversement, une arrivée beaucoup plus rapide des agents B . Les analyses de sociologie urbaine accordent une certaine pertinence aux rôles des anticipations. Dans la "gentrification" des quartiers populaires, les "pionniers" jouent un rôle essentiel en s'implantant dans un quartier qui ne leur correspond pas. Mais ce comportement risqué est fondé sur des anticipations quant au devenir de ces quartiers populaires.

Tester empiriquement si la contagion se fait plutôt par les croyances ou par les actions est difficile. Young (2005) s'essaie à un exercice de comparaison entre deux modes de contagion évolutionnaire. Pour ce faire, il utilise des données sur l'adoption des semences de céréales hybrides par les agriculteurs américains entre 1930 et 1950. Il propose deux dynamiques adaptatives d'adoption. La première dynamique modélise une diffusion par "bouche à oreille" : on adopte l'innovation quand on en entend parler. Ce type de contagion est proche du modèle de contagion épidémiologique que nous avons présenté dans la section sur les modèles évolutionnaires. En effet, un agent introduit une innovation et propage cette information en contactant différents agents qui ignoraient jusqu'alors la présence de cette innovation. Cette transmission d'information provoque un changement d'attitude des agents

récepteurs en stimulant leur intérêt à adopter cette innovation. La seconde dynamique modélise une diffusion par apprentissage : on adopte car on observe le comportement et les résultats de ceux qui ont adopté l'innovation. Chaque agent a un a priori sur l'innovation, a priori modélisé à l'aide d'un seuil critique d'adoption. Pour prendre sa décision, chaque agent possède une information sur le nombre d'adopteurs ainsi que sur le gain moyen que génère cette innovation relativement au statu quo. Ces deux informations lui permettent d'évaluer l'utilité de cette innovation relativement au statu quo : cette utilité est croissante en fonction du nombre d'adopteurs et du gain moyen associé à cette innovation. Si cette utilité est supérieure ou égale au seuil critique, alors l'agent adopte l'innovation. Les deux dynamiques génèrent des courbes d'adoption différentes. La confrontation avec les données empiriques est plutôt en faveur du modèle de diffusion par apprentissage.

En laboratoire, la confrontation des deux approches est plus facile. Dans le jeu du concours de beauté (Nagel, 1995), les résultats expérimentaux montrent clairement que les comportements réels sont plus sophistiqués que ceux supposés par l'approche évolutionnaire sans être toutefois aussi parfaits que ne le suppose l'approche éductive. Rappelons que dans ce jeu, un grand nombre de joueurs proposent un nombre entre 0 et 100 et le gagnant est celui qui a donné le nombre le plus proche des $2/3$ de la moyenne des valeurs proposées. L'équilibre est unique : tout le monde doit proposer 0. C'est aussi l'unique équilibre rationalisable du jeu. Pour le voir, le processus d'élimination des actions strictement dominées est simple. Il consiste d'abord à remarquer qu'il n'y a aucune raison de jouer un nombre supérieur à $2/3$ de 100. Si tout le monde en a conscience et si personne ne joue ces valeurs élevées, il n'y a alors aucune raison de jouer un nombre supérieur à $2/3$ de $2/3$ de 100. Le raisonnement se poursuit ad infinitum. Si tout le monde est rationnel et si tout le monde croit que tout le monde est rationnel, en bref s'il y a connaissance commune de la rationalité comme on le suppose dans l'approche éductive, l'équilibre doit être atteint immédiatement. Bien entendu ce n'est pas le cas en laboratoire. Ce qui est intéressant est d'étudier ce qui se passe lorsque ce jeu est récurrent. Un modèle évolutionnaire pourrait faire l'hypothèse que les agents sont des optimisateurs myopes. Dans ce cas, il prédirait que les propositions des joueurs sont des valeurs proches des $2/3$ de la moyenne observée à l'étape précédente. Ce n'est pas le cas et les sujets proposent en général beaucoup moins. La conclusion générale de cette litté-

rature expérimentale sur ce type de jeux est que la rationalité des joueurs se situe quelque part entre la rationalité très limitée supposée dans les modèles évolutionnaires et la rationalité parfaite supposée dans l'approche éductive.

Les résultats expérimentaux des modèles d'apprentissage social confirment les limites empiriques de l'hypothèse de rationalité parfaite et surtout de connaissance commune de la rationalité. Pour des expériences simples proches des modèles de Banerjee (1992) et de Bikhchandani, Hirshleifer, Welch (1992), on observe bien les phénomènes de mimétisme prédits et les cascades informationnelles. Pour des modèles plus complexes, en particulier dans les modèles qui ne présupposent pas un ordre exogène dans lequel les agents effectuent leur choix mais où les agents ont la possibilité de déterminer librement leur choix, les prédictions théoriques sont peu confirmées expérimentalement. En effet, dans ce second type de modèle, l'apprentissage social passe aussi par l'observation des délais d'attente des autres agents. Or, cela suppose d'une part de faire des inférences complexes et d'autre part d'avoir une grande confiance dans la rationalité des autres agents.

4 Peut-on jouer de la contagion ?

Bikhchandani, Hirshleifer et Welch (1998) citent le cas de deux spécialistes du management qui, pour faire de leur livre un best seller, en ont acheté 50 000 dans les librairies à partir desquelles le New York Times établit une liste de meilleures ventes. Entré ainsi dans la liste, le livre y est resté par la suite suffisamment longtemps pour que cette stratégie de marketing soit payante. La contagion offre un effet de levier très important mais elle n'est pas toujours au rendez-vous. Dans cette partie nous évoquerons dans un premier temps les facteurs qui favorisent la contagion. En particulier, nous nous demanderons comment la contagion dépend de la structure d'interaction et de communication d'information. Une fois les structures favorisant la contagion identifiées, nous étudierons le caractère souhaitable ou non de celle-ci.

Si les agents entrent peu en contact les uns avec les autres et ne disposent que de très peu d'informations et d'observations fiables sur les types et les comportements des agents qui composent la population, on se doute que la contagion a peu de chance d'émerger ou bien le processus de contagion sera très lent. En matière de maladie, plus les personnes sont en contact les unes avec les autres, plus le risque épidémique est grand. En est-il de même pour

les phénomènes économiques auxquels nous nous intéressons ? Les chances d’observer un phénomène de contagion est-il d’autant plus grand que les acteurs disposent de beaucoup d’observations ? Il n’y a pas de réponse générale à cette question, cela dépend de la situation économique particulière étudiée.

Dans les modèles d’apprentissage social, la réponse est plutôt positive. Dans les modèles de Banerjee (1992) et de Bikhchandani, Hirshleifer, Welch (1992), les agents disposent de toute l’information concernant les comportements passés des autres. Si on réduisait le caractère public des observations, les cascades informationnelles seraient plus rares.

Quand on modélise explicitement la diffusion de l’information par un réseau spécifiant qui observe qui, ce ne sont pas nécessairement les réseaux les plus connectés, c’est-à-dire les réseaux où la diffusion de l’information est la meilleure, qui favorisent nécessairement la contagion. Au contraire, un certain nombre d’articles obtiennent des résultats plus nuancés pour des problèmes économiques différents. C’est le cas de Chwe (2000) qui considère un problème de coordination. Les agents sont prêts à investir à condition que d’autres investissent également. Les propensions de chacun à coopérer sont différentes et sont des informations privées. Les agents, localisés sur les noeuds d’un réseau, se communiquent leur seuil d’adoption par le biais des arêtes ou liens de ce réseau : deux agents incidents à une même arête ont la possibilité de communiquer leur seuil d’adoption. Ces liens peuvent être orientés ou non ; dans le premier cas, l’information ne circule que dans un sens (le sens de direction du lien), alors que dans le second cas les deux agents incidents à une même arête s’échangent mutuellement des informations. Chwe (2000) montre qu’un réseau de communication minimal permet la coordination seulement s’il est structuré en une “hiérarchie de cliques”, une “clique” étant un groupe d’agents tel que chaque agent de ce groupe communique avec chacun des autres agents de ce groupe. “Hiérarchie” signifie que les cliques sont ordonnées dans le sens suivant : une clique est en aval d’une autre si tous les agents de la seconde envoient des informations à tous les agents de la première. Les cliques permettent de créer de la connaissance commune localement et les liens entre les cliques permettent de créer des réactions en chaîne à partir de cliques meneuses. La grande clique (le réseau complet) satisfait à cette condition mais elle n’est pas (nécessairement) minimale, c’est-à-dire qu’il est possible de trouver des sous-réseaux de communication permettant la coordination entre les agents. Par ailleurs, d’autres réseaux fortement connectés ne satisfont

pas cette condition alors que d'autres réseaux possédant moins de liens de communication mais mieux organisés y satisfont : ajouter des liens n'améliore donc pas nécessairement la coopération.

Qu'en est-il maintenant du point de vue normatif ? Quels sont les réseaux les plus efficaces ? La contagion est-elle toujours bonne ou faut-il la limiter ? Là encore, il est difficile de tirer des conclusions générales mais les résultats spécifiques obtenus apportent parfois des prescriptions normatives claires. A ce titre, on prendra trois exemples.

Bala et Goyal (1998) modélisent un problème d'apprentissage simple par expérience où l'on tire profit à la fois de ses propres expériences mais aussi des expériences de nos voisins. Ils observent le rôle négatif joué par ce qu'ils appellent une "famille royale", c'est-à-dire un sous-groupe d'agents que tout le monde observe. Par définition, une famille royale a une influence déterminante dans le choix des autres agents de la population. Plus généralement, on imagine que des agents "centraux" auront souvent un poids prépondérant. Selon les cas, cela peut être positif comme dans les problèmes de coordination examinés par Chwe ou négatif comme dans le problème d'apprentissage étudiés par Bala et Goyal.

Dans les cascades informationnelles à la Banerjee (1992) ou à la Bikhchandani, Hirshleifer, Welch (1992), il y a parfois une perte d'efficacité liée à l'arrêt de la révélation des informations privées. On peut imaginer qu'une intervention publique sous la forme de la diffusion d'une information publique peut casser momentanément une cascade informationnelle et relancer la révélation "efficace" de l'information privée. De ce point de vue, on peut imaginer le rôle positif que peut avoir une banque centrale par exemple, en diffusant l'information qu'elle a à sa disposition sur la valeur des fondamentaux de l'économie. En considérant un modèle un peu plus complexe où ils introduisent en plus un intérêt pour une coordination, Morris et Shin (2002) nuancent ce résultat : la diffusion de l'information publique peut être inefficace car l'information publique peut favoriser la coordination au détriment de la révélation des informations privées.

Dans les processus évolutionnaires, la question du voisinage sur lequel un agent forme ses observations est essentielle. Si les agents sont placés sur un cercle et interagissent avec leur deux plus proches voisins, la contagion, si elle survient, est très rapide. Lorsque la taille du voisinage augmente (les agents interagissent avec leurs $2k$ plus proches voisins), la vitesse de contagion ralentit (cf., Ellison, 1993). Ce résultat est exploité par Mobius (2000) pour

expliquer pourquoi les ghettos “rues” comme ceux de Chicago dans les années 1900-1920 sont beaucoup moins stables que les ghettos “centre” comme Harlem. Mobius et Rosenblat (2001) tentent d’estimer la taille du voisinage. En utilisant le recensement pour Chicago couvrant les années 1940-1960, ils obtiennent des données sur les vitesses de changement de population et en infèrent statistiquement une taille du voisinage de 150m : pour une personne, en moyenne, un voisinage comprend les habitations dans un rayon de 150m autour de son lieu de résidence. Ce travail montre la portée opérationnelle de ces modèles de contagion et dans le cas présent peut éventuellement aider à la mise en place de politiques urbaines.

5 Conclusion

Nous avons discuté deux façons distinctes de modéliser la contagion. La première, de type éductive, suppose que les agents ont des capacités cognitives suffisantes pour anticiper les processus de contagion possibles avant de prendre leur décision. La seconde, de type évolutionnaire, est stimulée par la répétition effective des interactions entre agents et les informations factuelles qu’ils enregistrent et exploitent au fur et à mesure que le processus se déroule. L’issue de ces deux processus de contagion est l’émergence d’une configuration stable ; la notion de stabilité étant liée à la nature du processus de contagion. En ce qui concerne les processus évolutionnaires, les résultats sont très sensibles aux détails du modèle (structures d’interaction et de communication d’information, règles comportementales). De plus, si l’analyse asymptotique du processus est systématique, les phénomènes transitoires restent peu explorés. Cette question est d’autant plus pertinente que le temps de la contagion évolutionnaire est le plus souvent long. Les structures d’interaction sont également importantes dans l’approche éductive, et la sensibilité des résultats de contagion à ces structures n’a pas encore été suffisamment étudiée. Les processus éductifs mobilisent des capacités cognitives fortes, dont on peut raisonnablement penser qu’elles dépassent les capacités de raisonnement d’acteurs réels. L’exploration expérimentale des processus de contagion éductive est un outil intéressant pour savoir quelles caractéristiques de l’approche éductive sont robustes. Les applications économiques se développent peu à peu, surtout en économie industrielle, et les résultats obtenus se démarquent des résultats standards lorsque la contagion est mi-

métique. Les modèles de contagion éductive ont trouvé des applications en finance internationale (crise de change,...)

6 Références

Aumann R., Agreeing to Disagree, *Annals of Statistics*, 4, 1976, 1236-1239.

Bala V., Goyal S., Learning from Neighbours, *Review of Economic Studies*, 65, 1998, 595-621.

Banerjee, A.V., A simple Model of Herd Behavior, *Quarterly Journal of Economics*, 107, 1992, 797-817.

Bikhchandani S., Hirshleifer D., Welch I., Learning from the Behavior of Others : Conformity, Fads, and Informational Cascades, *Journal of Economic Perspectives*, 12, 1998, 151-170.

Carlsson H., van Damme E., Global Games and Equilibrium Selection, *Econometrica*, 61, 1993, 989-1018.

Chamley C., *Rational Herds. Economic Models of Social Learning*, Cambridge University Press.

Chwe M., Communication and Coordination in Social Networks. *Review of Economic Studies*, 67, 2000, 1-16.

Ellison G., Learning, Local Interaction and Coordination, *Econometrica*, 61, 1993, 1047-1071.

Frankel D.M., Pauzner A., Expectations and the Timing of Neighborhood Change, *Journal of Urban Economics*, 51, 2002 295-314.

Kirman A., Ants, Rationality and Recruitment, *Quarterly Journal of Economics*, 1993, 137-156.

Lesourne J., Orléan A., Walliser B. (dir.) (2002), *Leçons de microéconomie évolutionniste*, Odile Jacob, Paris.

Mobius M., Rosenblat T., The Process of Ghetto Formation : Evidence from Chicago, mimeo, 2001.

Mobius M., The Formation of Ghettos as a Local Interaction Phenomenon, mimeo 2000.

Morris S. Contagion, *Review of Economic Studies*, 67, 2000, 57-78.

Morris S., Shin H.S., Social Value of Public Information, *American Economic Review*, 92, 2002, 1521-1534.

Nagel R., Unraveling in Guessing Games : An Experimental Study, American Economic Review, 85, 1995, 1313-1326.

Rubinstein A., The Electronic Mail Game, American Economic Review, 79, 1989, 385-391.

Schelling T.S. Dynamic Models of Segregation, Journal of Mathematical Sociology 1, 1971, 143-186.

Young P., The Evolution of Conventions, Econometrica, 61, 1993, 57-84.

Young P., The Spread of Innovations Through Social Learning, mimeo, 2005.

Vives X., Games with Strategic Complementarities : New Applications to Industrial Organization, International Journal of Industrial Organization, 23, 2005a, 625-637.

Vives X., Complementarities and Games : New Developments, Journal of Economic Literature, 43, 2005b, 437-479.

Weibull J., *Evolutionary Game Theory*, MIT press.