

Croyances et cognition

Raisonnement et révision des croyances : application à la théorie de la décision et à la théorie des jeux

Responsable scientifique : Paul BOURGINE

Paul BOURGINE

CREA

1 rue Descartes

75005 Paris

Tél. : 01 55 55 83

E-mail : bourgine@poly.polytechnique.fr

Équipes partenaires

- CERAS (ENPC)
- LCAF (Université Paris 8)
- GRID (ENS-Cachan)

Résumé signalétique

La théorie selon laquelle les inférences et le raisonnement se développent selon trois modes, l'abduction, la déduction et l'induction, trouve son origine dans les travaux de C.S. Peirce. Pour Peirce, toute surprise en provenance des faits naturels conduit à abduire une hypothèse, qui permet de déduire de nouvelles conséquences et à induire de nouvelles expériences pour tester par des expériences. On obtient ainsi un cycle itéré de révision des croyances. Une application cruciale de la révision itérée des croyances à la théorie de la décision et des jeux passe par la question du compromis exploration/exploitation : faut-il optimiser à court terme en exploitant la meilleure solution connue ou optimiser à long terme en explorant davantage les solutions mal connues pour réviser les croyances à leur propos.

Les principaux résultats de ce projet sont 1) l'explicitation d'un cadre axiomatique nouveau pour l'abduction, 2) la conception de deux protocoles originaux de psychologie cognitive qui, d'une part, ramènent le taux moyen de 40 % dans la littérature de « sophismes » d'affirmation de l'antécédent à partir du conséquent à 5 %, et, d'autre part, mettent en évidence pour la première fois, l'utilisation de l'abduction par les sujets 3) un protocole de mise en évidence des comportements d'exploration/exploitation de sujets face à des incertitudes du deuxième ordre, 4) la résolution des paradoxes du k-jeu de l'ultimatum en économie expérimentale en postulant que les sujets utilisent le compromis exploration/exploitation au cours de leur apprentissage 5) la théorie de la tarification optimale dynamique d'un monopole en présence d'une demande avec prix décroissant, 6) un nouveau protocole d'économie expérimentale de résolution de problème entre deux joueurs coopératifs qui montre que leurs performances observées s'améliorent avec le degré observé de partage des représentations.

Toutes les expériences, en psychologie cognitive et en économie expérimentale, n'ont été possibles qu'en utilisant un laboratoire expérimental portable, qui a été partagé entre les différents partenaires.

Mots-clés : Raisonnement • Abduction • Révision de croyances • Théorie de la décision • Théorie des jeux • Compromis exploration/exploitation • sophisme de l'antécédent • jeu de l'ultimatum • tarification du monopole • résolution de problème distribuée • représentations partagées.

Nombre de chercheurs et nombre et nombre d'hommes-mois :

Psychologie : 3 chercheurs et 22 hommes mois ; IA : 1 chercheur et 12 hommes mois ; logique : 1 chercheur et 6 hommes mois ; économie : 6 chercheurs et 51 hommes mois

Rappel des enjeux et objectifs fixés à l'origine

La théorie selon laquelle les inférences et le raisonnement se développent selon trois modes, l'abduction, la déduction et l'induction, trouve son origine dans les travaux de C.S. Peirce. La pensée de Peirce à propos de ces trois modes a progressivement évolué, passant d'une approche syllogistique à une approche inférentielle appropriée à une logique de la découverte telle qu'elle fonctionne par exemple dans les sciences. Le présent projet s'inscrit essentiellement dans l'approche inférentielle.

Un premier but de ce projet est de proposer, à partir d'une sémantique très naturelle de l'abduction, un cadre axiomatique nouveau pour les inférences abductives : on se place au sein d'un mode de raisonnement non encore étudié, le raisonnement non réflexif qui représente l'autre choix dans la rupture de symétrie introduite par la relation de préférence sur les mondes possibles. Il s'agit en outre d'examiner formellement les conditions qui permettent un va-et-vient entre le raisonnement abductif et le raisonnement déductif. Un avantage essentiel de la construction d'un cadre axiomatique est de pouvoir soumettre les axiomes à l'expérimentation en psychologie cognitive et de mettre en évidence l'existence de ce nouveau mode de raisonnement (ou pas).

Un deuxième but de ce projet est d'étudier comment on abduit des concepts ou des règles généralisant une série de messages « inductifs » venant de l'environnement. Cela revient à explorer la question de la révision itérée de croyances en relation avec les différents modes de raisonnement. Là encore, le travail axiomatique peut être soumis à des expérimentations en psychologie cognitive.

Le troisième but de ce projet vise les applications à la théorie des jeux (et à la théorie de la décision dans le cas où l'autre joueur est la nature). Dans un jeu répété, les croyances d'un joueur sur les conséquences de ses actions se modifient au fil des messages de l'environnement produit par chaque occurrence du jeu. Ainsi, l'agent est génériquement en situation d'avoir des croyances incertaines qu'il ne peut rendre moins incertaines qu'en explorant les stratégies, alors qu'il est tenté d'exploiter la stratégie qui lui semble la meilleure au vu de son expérience restreinte. C'est le dilemme exploration/exploitation présent dans toutes les situations d'incertitude. On vise à dégager les liens théoriques entre raisonnement, révision de croyances et le compromis exploration/exploitation ; et on testera la sensibilité et les performances des sujets humains dans ce compromis.

Résumé des résultats effectivement atteints

- 1) Formalisation du mode de raisonnement abductif et de ses liens avec la révision des croyances (IA, Logique, Économie) : cette direction du travail a donné lieu à l'envoi d'un projet d'article à Artificial Intelligence intitulé : « Abductive logics in a belief revision framework » (B. Walliser, D. Zwirn, H. Zwirn). Il propose deux formes d'abduction, qui apparaissent comme des formes inversées d'explication et sont exprimées en termes d'opérateurs de révision des croyances en sémantique. Pour la forme forte comme pour la forme faible, un système d'axiomes est proposé en syntaxe et un théorème de représentation permet de le lier à son expression sémantique. Parallèlement, les liens entre révision des croyances et bayésianisme ont été analysés dans le domaine expérimental (Logique, Psychologie). Un premier article (en révision dans Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition) intitulé « Is Human Mind Definitely Not Bayesian? a Survey of the Various Arguments » (J. Baratgin), critique les différents arguments de la littérature expérimentale sur le caractère non-bayésien de la révision des croyances et un second article (soumis dans British Journal of Psychology), intitulé « The psychology of probability revision: A pragmatic account of Bayesian coherence » (Baratgin, J., et Politzer, G.) propose une nouvelle méthodologie expérimentale basée sur les propriétés qualitatives des règles de révision
- 2) Mise en évidence du raisonnement abductif (Psychologie cognitive, IA) : les travaux de psychologie cognitive occultent généralement le raisonnement abductif. Deux proto-

coles de psychologie cognitive ont été menés pour mettre en évidence que le raisonnement abductif est effectivement présent chez les sujets. Ils ont consisté à étudier deux arguments conditionnels fondamentaux traditionnellement catégorisés comme des sophismes parce qu'ils ne fournissent pas de conclusion certaine et sont non valides déductivement. Cependant ils produisent une conclusion plausible et sont valides abductivement. On a montré que le traitement abductif de ces arguments déductifs est responsable des sophismes apparents. Plus précisément, du point de vue de la déduction, l'argument si P, alors Q ; Q ; donc P est fallacieux (on l'appelle dans la littérature le sophisme d'affirmation du conséquent). D'un autre point de vue, celui de l'abduction, il constitue un prototype d'argument plausible et il est parfaitement acceptable. Les résultats classiques en psychologie du raisonnement déductif sont qu'environ la moitié du temps, les individus commettent le sophisme d'affirmation du conséquent. Nous avons montré que ce taux d'erreur n'est qu'apparent : il est dû à ce que les individus abordent spontanément la tâche comme une tâche de raisonnement abductif ; nos données montrent que le taux de sophisme authentique est de l'ordre de 5 % seulement. Deux publications de ces résultats sont en cours de préparation.

- 3) Un protocole de mise en évidence des comportements d'exploration/exploitation de sujets face à des incertitudes du deuxième ordre (Économie expérimentale, Intelligence Artificielle) : l'incertitude du premier ordre est celle d'une loterie risquée dont on connaît l'espérance et l'écart-type ; l'incertitude du deuxième ordre apparaît avec des loteries

incertaines (encore appelé « bandits manchots » dans la théorie) lorsque la moyenne et l'écart-type sont à leur tour incertains ; les résultats de l'expérience pilote tendent à montrer que les sujets manifestent une bonne expertise du compromis, à la fois lorsqu'ils réagissent en situation de façon réactive ou lorsqu'ils planifient leurs stratégies sur un horizon limité. Le protocole est en cours de réalisation et ses résultats seront publiés dans une revue d'économie expérimentale.

- 4) La résolution des paradoxes du jeu de l'ultimatum en économie expérimentale (Économie, Intelligence Artificielle) en postulant que les sujets utilisent le compromis exploration/exploitation au cours de leur apprentissage. Ce travail a donné lieu à l'envoi d'un article à *Journal of Economic Theory*.
- 5) La théorie de la tarification optimale dynamique d'un monopole en présence d'une demande avec prix décroissant (Économie, Intelligence Artificielle). L'étude du problème de la tarification dynamique d'un monopole avec demande inconnue a donné lieu à plusieurs publications : un article à paraître dans la revue *Information Technology and*

Management Journal (accepté avec modifications mineures) ainsi qu'un article sur l'application de la théorie des bandits à plusieurs bras au problème de la tarification dynamique paru dans la revue *Electronic Commerce Research*. Par ailleurs un article sur le problème de la tarification dynamique avec interactions locales a été présenté à la conférence Internationale d'intelligence artificielle (2002, Las Vegas). Cet article a été publié dans les actes de cette conférence et est actuellement soumis (en version étendue) à la revue *Group Decision and Negotiation*.

- 6) Résolution de problème distribué (Économie expérimentale, Intelligence Artificielle) : un nouveau protocole d'économie expérimentale de résolution de problème entre deux joueurs coopératifs qui montre que leurs performances observées s'améliorent avec le degré observé de partage des représentations. La révision des croyances concerne ici des croyances non pas individuelles mais partagées. (article de Magali Sirerols, EAEPE)

Toutes ces expériences n'ont été possibles qu'avec l'aide d'un réseau d'ordinateurs utilisés comme « laboratoire portable » d'économie et de psychologie expérimentale.

Publications issues du projet

Sciences cognitives

- B. Walliser, D. Zwirn : Change rules for hierarchical beliefs, mimeo, 2001.
- B. Walliser, D. Zwirn, H. Zwirn : Abductive logics in a belief revision framework, 2002, en révision à « *Artificial Intelligence* ».
- Baratgin, J. (en révision). Is human mind definitely not Bayesian? a survey of the various arguments. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*.
- Baratgin, J., et Politzer, G. (soumis). The psychology of probability revision : A pragmatic account of Bayesian coherence. *British Journal of Psychology*
- Politzer, G. (2001). How to doubt about a conditional. In S. Benferhat & P. Besnard (Eds.), *Symbolic and quantitative approaches to reasoning with uncertainty* (p. 659-667). Lecture Notes in Artificial Intelligence (No 2143). Berlin : Springer.
- Politzer, G. (sous presse). Premise interpretation in conditional reasoning. In D. Hardman & L. Macchi (Eds.), *Reasoning and decision making: A handbook*. London : Wiley.
- Jean-Louis Stilgenbauer : erreurs de raisonnement et syllogisme conditionnel : une approche inductive, mémoire de DEA de Sciences Cognitives EHESS-Paris 6-Ecole Polytechnique, option psychologie cognitive.

Sciences économiques

- B. Walliser, D. Zwirn : Can Bayes rule be justified by cognitive rationality principles?, 2002, *Theory and Decision*, accepté pour publication

- Leloup, B. (2002), « L'incertitude de deuxième ordre en économie : le compromis exploration vs. exploitation. » Thèse de doctorat en Économie, GRID ENS de Cachan, et CREA, École Polytechnique.
- Leloup, B. et L. Deveaux (2002), « Pricing under Uncertainty on the Internet. » Article accepté pour publication (avec modification mineures) à la revue *Information Technology and Management Journal*.
- Leloup, B. et L. Deveaux (2001), « Dynamic Pricing on the Internet: Theory and Simulation. » *Electronic Commerce Research*, Special Issue on Electronic Market Design, 1 (3), 53-64.
- Leloup, B. (2002) « Dynamic Pricing with Local Interactions : Logistic Priors and Agent Technology. » Proceedings of the 2002 International Conference on Artificial Intelligence, CSREA Press, June 24-27, Las Vegas. Article en version étendue soumis à la revue *Group Decision and Negotiation*.
- P. Bourguine, B. Leloup (2001), « May Learning Explain the Ultimatum Game Paradox? » Article soumis à la revue *Journal of Economic Theory*.
- Thierry Rayna (2002) « Is software a public good? A study of the piracy of digital goods », article accepté pour la conférence de L'EAEPE : Complexity and the Economy: Implications for Economic Policy.
- Magali Sirerols (2002) « Cognitive Processes and Coordination Mechanisms: Shared Representations in Coordination Game "Share-Cog" », article accepté pour la conférence de L'EAEPE : Complexity and the Economy: Implications for Economic Policy.

