

Stéphane Le Roux

Travail (01/01/2009 - ?) LIX, École Polytechnique, 91128 Palaiseau, France
Email leroux@lix.polytechnique.fr

Principaux intérêts académiques actuels

- Théorie des jeux, systèmes (industriels) complexes, et économie.
- Calculabilité et complexité dans divers modèles de calcul.
- Théorie de la preuve et (en tant qu'utilisateur) vérification automatique de preuves.

Formation

- | | | |
|-----------|---|----------------------------------|
| 2008 | Économie (un trimestre en auditeur libre) | École Polytechnique |
| 2004-2007 | Doctorat (informatique) | École Normale Supérieure de Lyon |
| 2003-2004 | DEA (informatique) | École Normale Supérieure de Lyon |
| 1999-2001 | Sinologie (auditeur libre) | Université JiaoTong de Xi'An |
| 1997-1999 | Ingénierie généraliste | École Centrale de Lyon |
- Économie : niveau master, environ 15 heures par semaine.
 - Titre de ma thèse de doctorat : Généralisation et formalisation en théorie des jeux.
Diplôme délivré le : 16 janvier 2008.
Diplôme délivré par : École Normale Supérieure de Lyon, France.
Directeur de thèse : Pierre Lescanne, ÉNS Lyon.
Jury : Pierre Castéran, Jean-Paul Delahaye, Sylvain Sorin.
Relecteurs : Franck Delaplace, Jean-François Monin.
 - Titre de mon mémoire de DEA : Résolution d'équations dans des calculs interprétant la logique classique.
Diplôme délivré le : juillet 2004.
Diplôme délivré par : École Normale Supérieure de Lyon, France.
Directeur de stage : Pierre Lescanne, ÉNS Lyon.
 - 3 semestres de sinologie, plus 1 semestre de 4 cours d'informatique en Chinois (niveau master, examens tous réussis).
 - Ici, ingénieur généraliste signifie : D'abord, classe préparatoire (\simeq Licence en mathématiques et physiques). Puis, deux ans d'étude générale des techniques pour l'ingénieur (électricité, matériaux, mécanique, mathématiques, etc). Enfin, un semestre de spécialisation (en Chine pour moi), et un semestre de stage (à France Télécom R&D pour moi). Titre du mémoire de stage : Partage équitable et qualité de service sur un accès internet ADSL.

Emplois

2009	Postdoc à l'École Polytechnique, Palaiseau
2007-2008	Postdoc à INRIA-Microsoft Research, Orsay
2004-2007	Doctorant et enseignant à l'ÉNS Lyon
2002-2003	Représentant de Gerflor en Chine
2001	Ingénieur stagiaire (5 mois) à France Télécom R&D
1998	Ouvrier stagiaire (1 mois) à Polyclad, France

Gerflor est une entreprise française produisant des sols PVC, en particulier pour l'industrie. En tant que "manager des ventes" dont la langue de travail était le chinois, ma mission chez Gerflor était de développer notre marché sur la Chine entière. Mes activités comprenaient : Premièrement, formation de la force de vente locale. Deuxièmement, faire connaître Gerflor auprès des distributeurs, constructeurs, architectes, projets industriels ou décideurs des administrations. Je trouvais ces gens dans les forums professionnels, dans leurs bureaux, ainsi que sur les sites de construction, ou bien je les invitais pour des séminaires.

Activités de recherche

- Ma thèse considère des concepts classiques en théorie des jeux, en particulier l'existence d'équilibre de Nash. Traditionnellement, ces équilibres impliquent seulement des gains qui sont des nombres réels. Dans plusieurs variantes de jeux, j'abstrais au maximum la notion de fonction de gain et généralise les résultats existants de manière substantielle. Mon formalisme abstrait aide à définir des objets génériques et à étudier des conditions nécessaires et suffisantes pour l'existence d'équilibre. En particulier, la plupart des hypothèses traditionnelles sont souvent formulées tels des dogmes voire restent implicites. Exprimer et utiliser ces hypothèses de manière explicite montre que certaines d'entre elles sont inutiles voire nuisibles à la compréhension du problème. Certains de mes résultats sont prouvés formellement, *i.e.* la preuve est écrite dans et vérifiée automatiquement par un ordinateur. Le reste de mes définitions et résultats sont manipulés avec (presque) la même rigueur
- Trois preuves liées à la théorie des jeux et écrites en Coq (développé par l'INRIA) sont disponibles sur ma page web. Également, une partie de mon développement en Coq est maintenant intégré à la bibliothèque Color (réécriture et terminaison) développée au LORIA par Frédéric Blanqui.
- Au laboratoire commun INRIA-Microsoft Research, j'ai travaillé avec Georges Gonthier. Son projet est d'écrire une preuve formelle du théorème de Feit-Thomson. Ce théorème est un des principaux résultats de la classification des groupes finis, et même les experts ne sont pas totalement convaincus par la preuve historique de 250 pages. Le projet utilise `ssreflect` pour écrire les définitions, les énoncés et les preuves. `Ssreflect` est un langage formel développé par Georges Gonthier sur la base de Coq. Avant de commencer la preuve du théorème, on doit concevoir en `ssreflect` une bibliothèque

efficace pour la théorie des groupes finis. Cette activité nous apprend beaucoup sur la façon générale de concevoir des bibliothèques de lemmes. J'ai écrit un tutoriel pour le langage `ssreflect` et une preuve de l'existence de base pour les groupes finis abéliens.

- Avec Martin Ziegler, je travaille sur l'analyse de la calculabilité réelle. En lien avec le calcul des équilibres de la théorie des jeux nous avons d'abord exploré des versions calculables du point fixe de Brouwer qui est intrinsèquement non constructif. Ensuite nous avons rapidement abordé d'autres problèmes tels l'existence non-calculable de points calculables dans des sous-ensembles spécifiques de \mathbb{R}^n . Victor Poupet a commencé à travailler avec nous.
- Dans mon mémoire de DEA, j'ai conçu une méthode pour résoudre des équations dans des calculs liés à la logique classique, tout comme Gérard Huet résolvait des équations dans un calcul lié à la logique intuitionniste, *i.e.* le lambda calcul.
- Avec Victor Poupet, j'ai commencé à étudier les bornes inférieures de complexité de langages simples (tels les langages sans carré) dans différents modèles de calcul comme les machines de Turing à un ruban et les automates cellulaires uni-directionnels. Ceci n'a pas encore mené à une publication.
- En lien avec la théorie des jeux et les systèmes complexes, j'ai l'intention d'explorer les sciences économiques d'un point de vue très abstrait.
- Pendant mon postdoc au LIX, je vais travailler sur les systèmes complexes avec Daniel Kroh et Leo Liberti, et sur l'analyse statique de programme avec Eric Goubault et Leo Liberti.

Financements

- MENRT, allocation de recherche du gouvernement français.
- Monitorat, contrat d'enseignement lié à l'allocation de recherche.
- Bourse du collège doctoral franco-japonais (pour mon séjour au Japon).
- Bourse Eurodoc (pour mon séjour au Japon)
- Voyage à la conférence CIE 2008 financé par CIE.

International journals

- [1] Stéphane Le Roux and Martin Ziegler. Singular coverings and non-uniform notions of closed set computability. *Mathematical Logic Quarterly*, 5 :545–560, 2008.

International conferences

- [1] Stéphane Le Roux. Acyclicity and finite linear extendability : a formal and constructive equivalence. In Klaus Schneider and Jens Brandt, editors, *Theo-*

rem Proving in Higher Order Logics : Emerging Trends Proceedings, pages 154–169. Department of Computer Science, University of Kaiserslautern, September 2007.

- [2] Stéphane Le Roux. Acyclicity of preferences, Nash equilibria, and subgame perfect equilibria : a formal and constructive equivalence. In S Barry Cooper, Thomas F. Kent, Benedikt Löwe, and Andrea Sorbi, editors, *Computation and Logic in the Real World, CiE 2007*, Quaderni del Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche "Roberto Magari". University of Siena, June 2007.
- [3] Stéphane Le Roux. Discrete non determinism and Nash equilibria for strategy-based games. In Arnold Beckmann, Costas Dimitracopoulos, and Benedikt Löwe, editors, *CiE 2008 : Abstracts and extended abstracts of unpublished papers*. University of Athens, June 2008.
- [4] Stéphane Le Roux. Graphs and path equilibria. In *Algorithmic Aspects in Information and Management, 4th International Conference*, Lecture Notes in Computer Science, pages 247–258. Springer, June 2008.
- [5] Stéphane Le Roux and Martin Ziegler. Singular coverings and non-uniform notions of closed set computability. In *Fourth International Conference on Computability and Complexity in Analysis*, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, pages 73–88. Elsevier, 2008.

International workshops

- [1] Stéphane Le Roux. Non-determinism and Nash equilibria for sequential game over partial order. In *Computational Logic and Applications, CLA '05*, Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science, 2006.
- [2] Stéphane Le Roux and Pierre Lescanne. Solving equations in a language with control operators. In *18th International Workshop on Unification*, June 2004. online at <http://www.mpi-inf.mpg.de/baumgart/ijcar-workshops/>.

Theses

- [1] Stéphane Le Roux. Résolution d'équations dans des calculs interprétant la logique classique. M.sc. thesis, Ecole Normale Supérieure de Lyon, July 2004.
- [2] Stéphane Le Roux. *Generalisation and formalisation in game theory*. Ph.d. thesis, Ecole Normale Supérieure de Lyon, January 2008.

Other

- [1] Stéphane Le Roux, Pierre Lescanne, and René Vestergaard. A discrete Nash theorem with quadratic complexity and dynamic equilibria. Research report IS-RR-2006-006, Japan Advanced Institute of Science and Technology, 2006.

Visites de laboratoire et séminaires

- Université Denis Diderot - Paris 7 (2008, 1 séminaire, invité par Arnaud Durand et Guillaume Malod)
- Université de Grenoble (2008, 1 exposé pour workshop sans publication, invité par Corinne Touati)
- LABRI (2008, 1 séminaire, invité par Olivier Ly et Yvan Le Borgne)
- IRISA (2008, 1 séminaire, invité par Loic Helouet et Anne Bouillard)
- LIAFA (2008, 1 séminaire, invité par Emmanuelle Lebhar)
- LIF (2008, 1 séminaire, invité par Victor Poupet)
- LORIA (2007, 1 séminaire, invité par Olivier Bournez)
- Université de Cambridge (2007, une semaine pour séminaire et recherche, invité par Timothy Griffin)
- INRIA-Microsoft Research (2007, 1 séminaire, invité par Georges Gonthier)
- Université of Paderborn/Heinz Nixdorf Institute (2007, une semaine pour séminaire et recherche, invité par Martin Ziegler)
- Japan Advanced Institute of Science et technology (2006, 5 mois for recherche, invité par René Vestergaard)
- Japan Advanced Institute of Science et technology (2005, 1 mois for recherche, invité par René Vestergaard)
- Japan Advanced Institute of Science et technology (2004, 1 mois for séminaire et recherche, invité par René Vestergaard)

Enseignement

- Chaque entrée sauf la dernière correspond à 32 heures de travaux dirigés :
- Logique, théorie de la preuve et lambda calcul, automne 2004 et 2005 (L3, ÉNS Lyon, assistant de Pierre Lescanne)
 - langages formels et automates, automne 2004 (L3, ÉNS Lyon, assistant de Marianne Delorme)
 - Programmation en O’Caml et C, automne 2005 (L3, ÉNS Lyon, assistant de Daniel Hirschhoff)
 - Tutorat, automne 2006 (M2, ÉNS Lyon, pour un cours de Pascal Koiran)
 - Bases de bases de données, systèmes d’exploitation, édition de texte... automne 2005 (L1, INSA Lyon, assistant de Jean-François Ponsignon).
 - Un cours de deux heures sur la théorie des jeux, automne 2008 (M2, ÉNS Lyon, invité par Pierre Lescanne)

Langues

- Langue maternelle : français
- Courant : anglais et chinois (la lecture et l’écriture du chinois nécessitent révision).

- De base (et partiellement oublié) : allemand (7 ans d'étude) et japonais (étudié au Japon).
- Étude scolaire court terme (et quasiment oublié) : espagnol, latin et arabe.

Résumé de ma thèse de doctorat

La théorie des jeux est l'étude des interactions compétitives entre agents décisionnels. Elle est maintenant appliquée à des disciplines telles l'économie, la politique, la biologie (théorie de l'évolution de Maynard Smith, réseaux de régulation), et l'informatique (internet, sémantique, automates, jeux à la Conway). Dès l'époque moderne, certains concepts sous-jacents émergèrent de la politique, de l'économie, ainsi que des jeux de cartes. La théorie des jeux se constitua cependant en discipline scientifique vers 1944 avec *Theory of Games and Economic Behavior* de von Neumann et Morgenstern. On étudia alors intensivement les jeux *séquentiels* (les agents jouent alternativement, comme au poker) et les jeux *stratégiques* (les agents jouent simultanément, comme à pierre-papier-ciseaux) dont les gains s'apparentent à des nombres réels. Le concept d'équilibre de Nash devint vite central à l'étude de ces jeux. Un tel équilibre regroupe une stratégie de jeu par agent, tel qu'aucun agent n'ait intérêt à changer unilatéralement sa propre stratégie. Kuhn montra en 1953 que pour tout jeu séquentiel, il existe un équilibre de Nash. Il existe cependant des jeux stratégiques sans équilibre. Nash montra néanmoins en 1950 que pour tout jeu stratégique, il existe un équilibre de Nash *probabiliste*, une version affaiblie/généralisée de l'équilibre de Nash. (Le résultat de Nash fut ensuite généralisé pour une notion plus large de jeux stratégiques présentant de bonnes propriétés de continuité et de convexité.)

La théorie des jeux actuellement dominante présente cependant des limites. Premièrement, pour signifier qu'un agent pense selon plusieurs dimensions incommensurables (comme, parfois, le temps et l'argent), on définit dès 1955 un gain comme un vecteur réel au lieu d'un unique réel. Bien que plus naturel et général, ce formalisme *multi-critère* est resté marginal face à l'*uni-critère*. Deuxièmement, la restriction aux gains réels est certes simplificatrice, mais le monde concret n'est pas toujours continu : si on peut raisonnablement parler du tiers d'un million d'euros, il est néanmoins difficile d'acheter le tiers d'une automobile. Troisièmement, l'espérance mathématique, invoquée dans la définition de l'équilibre de Nash probabiliste, n'est pas toujours un critère d'utilité adapté : je préfère gagner un million d'euros à coup sûr plutôt que trois millions à pile ou face. Quatrièmement, le concept de probabilité ne représente pas toujours fidèlement l'incertitude : quelle est la probabilité de $P = NP$? La théorie des jeux actuelle privilégie donc le continu, occultant ainsi un pan entier du monde concret. Le succès mérité de cette théorie quantitative s'explique en partie par l'absence d'une alternative permettant des résultats probants. Ma thèse introduit une telle alternative.

Ma thèse explore une théorie des jeux qualitative, non seulement capable de refléter l'incertitude à plusieurs niveaux, mais aussi applicable au quantitatif. Je développe un cadre générique limitant au minimum les hypothèses quant à la

topologie des interactions entre agents et la nature des gains. Ce cadre abstrait me permet d'extraire l'essence de l'équilibre de Nash, d'étudier les résultats de Kuhn et de Nash, de démontrer des équivalences au lieu d'implications, et de formaliser certains de mes résultats pour vérification automatique.

En particulier, je définis les jeux *convertibilité/préférence* (C/P), abstraction des jeux séquentiels et des jeux stratégiques. Dans ce formalisme, j'unifie les deux notions d'équilibre de Nash, séquentielle et stratégique : un équilibre de Nash (abstrait) est une *situation* telle que si un agent *préfère* une situation alternative alors il ne peut pas *convertir* l'actuelle en l'alternative. (Ma thèse se réfère abondamment à ce paradigme d'ailleurs suggéré dans le *Contrat Social* de Rousseau.) En tant que généralisation des jeux stratégiques, certains jeux C/P n'ont pas d'équilibre de Nash. Pour résoudre ce problème je définis un équilibre généralisé (comme Nash, mais sans probabilité) *discret et dynamique* avec existence garantie. Mon formalisme C/P est ensuite devenu le principal outil théorique de la thèse bio-informatique de Chafika Chettaoui.

Dans *A Course in Game Theory* (1994) de Osborne et Rubinstein, le résultat de Kuhn est généralisé pour des gains abstraits comparés par des préférences pré-ordonnées. Les *jeux séquentiels abstraits* sont reformulés dans ma thèse qui montre que la garantie d'existence d'équilibre de Nash équivaut à l'acyclicité des préférences des agents. Ma généralisation du résultat de Kuhn surpasse celle d'Osborne et Rubinstein. Par exemple, l'existence d'équilibre pour les jeux séquentiels multi-critères, démontrée seulement dans ma thèse, est un corollaire trivial de mon équivalence. En revanche, le résultat de Osborne et Rubinstein ne permet pas d'inférer mon corollaire. En effet, transposé dans mon formalisme qui capture mieux la notion d'équilibre, leur pré-ordre devient un *ordre strict faible* (entre ordre total et ordre partiel), alors que les jeux multi-critères impliquent des ordres partiels ; c'est cependant le mieux qu'ils puissent prouver avec leur structure de preuve similaire à Kuhn. Quant à ma preuve, elle propose le tri topologique de chaque préférence en amont de la preuve de Kuhn, ce qui est contre-intuitif mais effectif. Mon résultat est garanti par une formalisation intégrale de 2000 lignes de *Coq* s'appuyant sur des preuves par récurrence structurelle, et mon tri topologique a été intégré à la bibliothèque Color du Loria

Ensuite, je généralise dans les graphes la structure arborescente des jeux séquentiels. Le jeu obtenu pourrait rappeler des jeux existants, mais les problématiques sont néanmoins différentes. Mes résultats, restreints aux jeux à un agent, fournissent une application au routage statique dans les réseaux. Comme dans l'ensemble de ma thèse, les preuves sont constructives et fournissent donc des algorithmes de calcul d'équilibre.

Puis je généralise les jeux stratégiques en *jeux stratégiques abstraits*, qui n'ont donc pas tous un équilibre de Nash. Contrairement au cas réel (quantitatif) de Nash, les probabilités sont inadaptées au cas abstrait (qualitatif) plus général. J'utilise alors le concept de non-déterminisme discret qui se situe entre le déterminisme et le non-déterminisme continu des probabilités. Cela permet de définir une notion d'équilibre de Nash non-déterministe *discret et statique* avec existence garantie et calculable en temps cubique, alors que, quand il existe, l'équilibre probabiliste n'est peut-être pas calculable en temps polynomial. Cet

équilibre non-déterministe (discret et statique) fournit un lien, tant au niveau conceptuel que pratique, entre l'équilibre C/P (discret et dynamique) et l'équilibre probabiliste (continu et statique).

Enfin, je généralise dans les graphes mes jeux stratégiques abstraits en des jeux à interaction à la fois séquentielle et simultanée. Le non-déterminisme discret est suffisamment puissant pour garantir l'existence d'équilibre de Nash non-déterministe discret dans ces jeux.

Ainsi, ma thèse étudie l'essence de l'équilibre de Nash et des résultats de Kuhn et de Nash. Certaines de mes généralisations étant seulement des implications, cela incite à persévérer afin d'obtenir des équivalences. Cependant, la conclusion de ma thèse énonce trois propositions fondamentales. Premièrement, les équilibres de Nash sont descriptifs mais pas normatifs : ils ne peuvent pas recommander une stratégie aux agents. Deuxièmement, le concept d'équilibre de Nash, par définition, implique des agents inconscients de participer à un jeu. Troisièmement, s'appuyant sur le non-déterminisme discret de ma thèse, il est envisageable de définir deux concepts intimement liés d'équilibre et de recommandation. L'existence serait garantie et les agents conscients d'être en interaction, mais pas en communication. Si l'occasion m'est donnée, c'est en particulier dans cette direction que je voudrais prolonger ma thèse.