

# DAUPHINE RECHERCHES

Le magazine de la recherche à Dauphine

N°2  
JUILLET 2009

Voici donc le second numéro de DAUPHINE RECHERCHES dans lequel vous trouverez, comme dans le précédent, trois coups de projecteur sur des travaux récents menés à Dauphine. Dans notre premier numéro, l'un des articles du magazine portait sur les travaux de Françoise Forges et nous avons été particulièrement heureux d'apprendre que ses travaux viennent d'être récompensés par une médaille d'argent du CNRS. Au même moment, dix enseignants dauphinois, professeurs et maîtres de conférences, étaient promus par le Conseil national des Universités qui professeur de première classe, qui professeur de classe exceptionnelle, qui maître de conférences hors-classe.

Ces distinctions et ces promotions sont le reflet de la qualité des chercheurs dauphinois. Mais si la recherche doit s'appuyer sur des femmes et des hommes de talents, elle résulte également d'une dynamique de groupe et c'est cette dynamique que Dauphine a entrepris de promouvoir au travers de la création de chaires d'entreprises. C'est ainsi que nous avons grand plaisir à annoncer la création prochaine de la 9ème chaire d'enseignement et de recherche centrée sur le thème «Ville et Immobilier».

#### **Elyès Jouini,**

Vice-président en charge de la recherche

#### **Pierre Volle,**

Vice-président en charge  
des relations entreprises



**Comment la finance  
s'est emparée  
des fonds de pension**

→ Page 3/4



**Impact des recommandations  
des tiers et du buzz Internet  
sur les ventes : une application  
au domaine du cinéma**

→ Page 5/6



**Lignes géodésiques  
et Analyse d'images**

→ Page 7/8

DAUPHINE  
UNIVERSITÉ PARIS

## FRANÇOISE FORGES, MÉDAILLE D'ARGENT DU CNRS 2009

La **Médaille d'argent du CNRS 2009** a été attribuée au professeur **Françoise FORGES**, professeur de sciences économiques à l'Université Paris-Dauphine et membre des centres de recherche **CEREMADE** et **LEDa**. Titulaire d'un doctorat en Sciences Mathématiques obtenu à l'Université Catholique de Louvain, ses recherches portent essentiellement sur la théorie des jeux et la microéconomie. (<http://sites.google.com/site/francoiseforges/>)

La Médaille d'argent du CNRS distingue un chercheur pour l'originalité, la qualité et l'importance de ses travaux, reconnus sur le plan national et international.

## PIERRE-LOUIS LIONS, AU CA DE L'ENS

Chercheur à Dauphine et professeur au Collège de France, **Pierre-Louis LIONS**, lauréat de la **médaille Fields** en 1994, a été nommé, par Décret du 11 juin 2009, **Président du conseil d'administration de l'Ecole normale supérieure** (rue d'Ulm).

## JOURNÉE DE LA RECHERCHE

### Dauphine a tenu sa 1ère journée de la recherche le mardi 12 mai dernier.

Articulée autour de trois temps forts - exposés présentant des résultats de travaux de recherche, cérémonie de remise de diplômes de Doctorat Honoris Causa, cérémonie de remise des diplômes de doctorat à la promotion 2008 - cette journée a été très vivement appréciée. « *Cet événement joue un rôle fondamental dans le développement de la place de recherche dans notre université. Il constitue à la fois un moment d'ouverture aux autres disciplines et un moment au cours duquel la recherche s'affiche et se donne à voir de manière très concrète. Chacun des intervenants a fait l'effort de présenter ses travaux en termes accessibles sans pour autant tomber dans la simplicité. Le talent des orateurs et la qualité de la programmation ont de plus donné à voir dans chaque exposé les liens multiples et étroits que chacune de nos disciplines entretient ou est susceptible d'entretenir avec les autres* » a témoigné Elyès Jouini, Vice-président du Conseil scientifique.

## DES CHERCHEURS DE DRM IMPLIQUÉS DANS UN PROJET DE RECHERCHE DE R&D LABELLISÉ PAR LE PÔLE FINANCE INNOVATION

Le projet de R&D collaboratif **HX Liquidity** a été labellisé par le Pôle Finance Innovation pour être présenté au 8ème AAP du FUI (Fonds Unique Interministériel). Ce projet qui vise à développer un outil permettant aux sociétés de gestion de calculer la liquidité des marchés et de gérer le risque de liquidité d'un portefeuille réunit les partenaires économiques et académiques suivants : HEGO, CACIA, Hexaglobe, l'Université Paris Sud, l'Ecole Nationale Supérieure de Création Industrielle et l'Université Paris-Dauphine.

Côté Dauphine, 3 chercheurs et enseignants-chercheurs de **DRM** sont impliqués : Fabrice Riva, Juan Raposo et Laurent Deville.

L'ultime sélection par le FUI est en cours.

## DES JEUNES CHERCHEURS ET ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DAUPHINOIS À L'HONNEUR DANS LES PROJETS ANR

Le projet **COCA** (Combinatorial Optimization for Competing Agents) de Laurent Gourves, chargé de recherche CNRS au sein du **LAMSADE**, a été sélectionné dans le cadre de l'édition 2009 du programme Jeunes Chercheuses et Jeunes Chercheurs de l'ANR. Il coordonnera une équipe de 5 chercheurs et enseignants-chercheurs issus des universités Paris-Dauphine et Paris 6/Pierre et Marie Curie.

Philippe GRAVEJAT, Maître de conférences au **CEREMADE**, a vu également son projet **ArDyPitEq** (Around the dynamics of the Gross-Pitaevskii equation) sélectionné dans ce même programme. Il coordonnera une équipe de 6 enseignants-chercheurs issus des universités de Paris-Dauphine, Nice, Reims, Franche-Comté, Rennes 1 et Paris 6.

D'autres projets ont également été sélectionnés dans le cadre des programmes « BLANC » et « Domaines Emergents et Programme Phare Mémoire » :

- ▶ le projet **CERECA** - Création et évolution de la relation d'emploi dans le cadre de l'apprentissage - d'Éric Campoy, Maître de conférences à **DRM**,
- ▶ le projet **ComSoc** - Computational Social Choice - de Denis Bouyssou, Directeur de recherche CNRS au **LAMSADE**,
- ▶ le projet **ECRU** - Explorations des chemins rugueux / Explorations on rough paths - de Massimiliano Gubinelli, Professeur au **CEREMADE**,

▶ le projet de **TODO** - Temps versus optimalité en optimisation discrète - de Vangelis Paschos, Professeur au **LAMSADE**.

## SLDS2009 'SYMPOSIUM ON LEARNING AND DATA SCIENCE'

Le **CEREMADE** a organisé à l'Université Paris-Dauphine les 1er, 2 et 3 Avril le premier Symposium International en Apprentissage et Science des Données. Face aux immenses volumes d'information numérisés (statistiques, textes, images, etc ...) aujourd'hui disponibles pour les états et les entreprises du monde entier, il était crucial de faire rencontrer et dialoguer deux sous-domaines des mathématiques et de l'informatique qui cherchent tous deux à extraire le meilleur de ces connaissances. Ce défi a été relevé avec succès selon les participants. Les fondateurs historiques des approches, le professeur Benzécri -France- pour l'Analyse des Données, les professeurs Vapnik -USA- et Chervonenkis -Russie- pour l'Apprentissage ont présenté les paradigmes et les principaux théorèmes qui ont guidé les recherches dans ces domaines durant ces vingt dernières années dans le monde. Des chercheurs et des représentants d'entreprises de plus de dix pays étaient présents et ont fait de cette rencontre un « moment mémorable pour plus d'un motif », selon le professeur Fionn Murtagh, directeur du CNRS irlandais, responsable du suivi des publications dans le Journal of classification des meilleurs articles issus de SLDS2009. Un concours « jeunes chercheurs » a également permis aux plus jeunes de s'investir et d'apporter leurs compétences.

Pour capitaliser les apports de ces rencontres et prolonger le dialogue inter-domaines, un projet de FORUM sur ces sujets se met en place prochainement :

[www.ceremade.dauphine.fr/SLDS2009](http://www.ceremade.dauphine.fr/SLDS2009)

# Comment la finance s'est emparée des fonds de pension



**Sabine Montagne** est diplômée de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne (1986). Après dix ans d'exercice sur les marchés financiers au sein du Crédit Lyonnais, elle soutient une thèse de doctorat en économie à l'Université de Paris X Nanterre (2003). Elle est depuis 2004 chercheuse au CNRS, à l'Institut de Recherche Interdisciplinaire en Sciences Sociales de l'Université Paris-Dauphine (IRISSO - UMR 7170). Ses travaux portent sur l'économie du droit, la sociologie de la finance et la financiarisation de la protection sociale. Elle s'intéresse plus particulièrement aux notions de prudence d'investissement, d'expertise en évaluation financière et d'investissement de long terme.

► Réalisé d'après un entretien avec Sabine Montagne et sur la base de son article « Pouvoir financier vs pouvoir salarial. Les fonds de pension américains : contribution du droit à la légitimité financière », Editions de l'EHESS, Annales, décembre 2005.

## Idées clés :

- **La forme juridique des fonds de pension devrait garantir aux salariés le droit à la retraite.**
- **L'évolution juridique des fonds de pension les a déviés de leur fonction première et les a conduits à se soumettre aux règles des marchés financiers.**

## CONTEXTE

L'étude de Sabine Montagne sur les fonds de pension s'inscrit dans un contexte de bouleversement démographique majeur. Confrontés au vieillissement de leur population, les pays de l'OCDE ont entamé depuis 20 ans de vastes réformes de leurs systèmes de retraite. Conséquence de l'euphorie boursière des années 90, un consensus politique s'est formé autour des systèmes de retraite par capitalisation, au détriment de ceux par répartition. Ce consensus a perduré au début des années 2000 même si la crise boursière de 2000 a mis à mal les fonds de pension anglo-saxons. Spécialiste des effets du droit sur les structures financières, Sabine Montagne s'est penchée sur la question de l'évolution juridique des fonds de pension et sur le rôle joué par le droit dans la confiance accordée à ces dispositifs. Son étude retrace l'origine du trust fund à l'américaine et analyse sa transformation juridique.

### Raison d'être du trust fund

A l'origine, le trust fund n'a rien à voir avec les fonds de pension. Il s'agit d'un système très ancien de cession de propriété, créé au Moyen-âge pour protéger les terres des Croisés pendant leur absence. Le système du trust fund permet de « confier » la propriété à un tiers pendant un laps de temps donné. Petit à petit, le trust fund est utilisé pour gérer des biens au sein d'une relation asymétrique, par exemple entre une personne majeure (*le settlor*) et une autre mineure (le bénéficiaire). Le système du trust fund est notamment utilisé par les riches familles américaines qui souhaitent transmettre un héritage à leur descendance, tout en conservant un droit de regard sur l'utilisation qui en est faite. *Le trustee, qui s'occupe de la gestion du bien*, obtient la propriété du bien, le bénéficiaire obtient le droit au revenu. Il s'agit d'un système typiquement anglo-saxon, sans aucun équivalent en France avant la loi sur la fiducie de 2007. Le *trust fund* permet la gestion sous tutelle et provoque une asymétrie de pouvoir importante : en effet, il octroie d'énormes pouvoirs au *trustee* (le gestionnaire), y compris celui de disposer du bien.

### Trust fund et protection sociale des salariés

A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, les grandes entreprises américaines (chemin de fer, banques...) désireuses de garantir une retraite à leurs salariés choisissent de constituer des fonds de pension sur le modèle du *trust fund* : l'entreprise est propriétaire et gestionnaire des titres acquis dans le cadre de ce fonds et le salarié bénéficie quant à lui d'une rente lors de sa mise à la retraite. La forme juridique du *trust fund* est censée garantir la conservation du bien (mis en trust par l'employeur) et la distribution des revenus (aux salariés retraités). Ainsi, des règles juridiques précisent la manière dont le trustee doit gérer les biens. La jurisprudence définit un comportement typique, celui du *prudent man*<sup>1</sup>.

Après la Seconde guerre mondiale, les fonds de pension se développent massivement et se positionnent de plus en plus sur les marchés financiers. La logique de rendement prend peu à peu le pas sur celle de conservation des biens.

1- C'est-à-dire le « bon père de famille ».

# Comment la finance s'est emparée des fonds de pension

## ► Comment la finance a-t-elle pris le pouvoir au sein des *trust funds* ?

La financiarisation des fonds de pension est indissociable de la loi fédérale Erisa, mise en place en 1974 aux Etats-Unis. Le législateur souhaite professionnaliser la gestion financière des fonds de pension : il en favorise la délégation à des intermédiaires financiers. S'appuyant sur la nouvelle théorie financière de la diversification de portefeuille (aucun investissement n'est risqué en soi pourvu que les placements soient diversifiés), la loi Erisa fait sauter les verrous qui pesaient jusqu'à présent sur les investissements des *trusts* et assuraient à la fois la permanence du capital et la régularité des revenus. C'est la porte ouverte aux innovations financières : dans les années 80, *les junk bonds, stripped bonds*, puis dans les années 1990, *hedge funds* et finalement *subprimes*.

Parallèlement, la dérégulation financière mise en œuvre à cette époque élimine un à un les mécanismes de contrôle. Elle encourage le développement d'activités financières peu ou pas réglementées.

Dans cet environnement concurrentiel de course au rendement à court terme, les fonds de pension ont perdu de vue la spécificité de leur finalité d'investisseur de long terme. Ils sont devenus des acteurs essentiels des bulles financières successives des années 1990-2000.



## ► Peut-on espérer un assainissement du système ?

Des changements sont effectivement à l'œuvre, mais ils sont pour l'instant limités, et la crise n'y change rien ! Il faut revenir en 2006 pour comprendre ce qui se passe en ce moment : pour pallier le manque d'épargne retraite des Américains, l'administration Bush a amendé la loi Erisa afin que les salariés soient automatiquement engagés dans les *trust funds* et qu'un conseiller en investissement soit mis à leur disposition. Or, ce conseiller n'est jamais tenu pour responsable de ses décisions d'investissement ; il peut même proposer ses propres produits aux clients ! Les conflits d'intérêt sont énormes. Pour rompre avec l'ère Bush, extrême en matière de prise de risque et de dérégulation financière, Barack Obama a suspendu l'application de la réglementation sur le conseil en investissement dès son arrivée au pouvoir.

En dehors des Etats-Unis, si la crise a fortement éclipsé l'intérêt pour la retraite par capitalisation, les sociétés de gestion d'actifs sont quant à elles préparées à proposer et gérer des fonds d'épargne d'entreprise, y compris transnationaux.



## APPLICATION POUR L'ENTREPRISE

Les entreprises nord états-uniennes ont dû elles-mêmes organiser la protection sociale de leurs salariés car l'alternative publique, la Sécurité Sociale, n'a pas pu atteindre une maturité comparable à celle des régimes de l'Europe continentale. Si, à leur origine, les fonds de pension ont constitué un outil efficace de rétention de la main d'œuvre puis de pacification sociale, dans les années 1950, ils sont devenus des fardeaux pour les entreprises ouvertes à la concurrence internationale à partir des années 1970. Les employeurs se sont alors désengagés de ces fonds lorsqu'ils le pouvaient en proposant en échange des dispositifs d'épargne individuelle à leurs salariés. Sous la pression de la loi ERISA, ils ont également délégué la gestion financière des fonds à des professionnels. Si le coût direct pour les entreprises a été ainsi réduit, le coût global de ce type de protection sociale financiarisée s'avère élevé : l'autorégulation de la sphère financière a montré ses limites à produire, de manière stable et régulière, une retraite pour l'ensemble des salariés américains.

## APPLICATION POUR LE RÉGULATEUR

L'étude de Sabine Montagne met en évidence un type d'action du droit sur l'économie qualifiée par l'auteur de « rémanence » : des principes anciens du droit ont nourri le travail du législateur, de sorte que le principe de protection du bénéficiaire a peu à peu été transformé en contrainte organisationnelle sur les prestataires extérieurs au trust fund. Mais cette contrainte, loin de freiner l'expansion de l'industrie financière, est devenue un principe de régulation sectorielle fort adapté au développement des innovations financières et de la prise de risque. Cet exemple illustre les modalités concrètes de la co-évolution du droit et de l'économie.



### Fabrice Larceneux

Diplômé de l'ENS Cachan, agrégé d'Economie et Gestion et titulaire d'un doctorat en Sciences de Gestion, Fabrice Larceneux est chercheur CNRS à l'Université Paris-Dauphine (DRM – UMR 7088) et enseigne le marketing social et éthique à HEC Paris. Il est également *visiting scholar* à la Cass Business School (City of London University). Ses recherches portent essentiellement sur l'influence des tierces parties sur le processus de décisions des consommateurs et dans la relation entre consommateurs et producteurs. Ses travaux l'ont par exemple amené à étudier les produits expérientiels (produits culturels notamment), la problématique des annonces publicitaires écologiques trompeuses (*greenwashing*) ou les effets de l'hyperchoix.

# Impact des recommandations des tiers et du *buzz* Internet sur les ventes : une application au domaine du cinéma

► D'après un entretien avec Fabrice Larceneux et son article « *Buzz* et recommandations sur Internet : quels effets sur le box-office ? », *Recherche et Applications en Marketing*, vol. 22, n° 3/2007.

- **Le buzz, lié aux critiques des professionnels et des amateurs, est indépendant de la pression commerciale lors du lancement d'un film ;**
- **Les critiques des professionnels ont un réel impact sur la vie du film après la première semaine ;**
- **Après la première semaine, l'étendue du buzz est un bon outil de prédiction de la fréquentation des salles de cinéma.**

## MÉTHODOLOGIE

Dans une recherche menée spécifiquement sur les films, Fabrice Larceneux utilise l'expérimentation en terrain réel. Pour chaque film il a codé l'opinion des critiques (bonne, moyenne, mauvaise) et l'avis des internautes (bon ou mauvais) disponibles sur le site de référence allocine.com, puis a mesuré l'évolution du box-office sur deux périodes : la semaine de sortie puis les semaines suivantes. Le chercheur prend par ailleurs garde à contrôler plusieurs variables dont les dépenses en marketing (variable fortement corrélée au succès d'un film au box-office) en prenant en compte le nombre de salles qui diffusent le film.

Les travaux de Fabrice Larceneux sur l'impact des tierces parties dans le choix des consommateurs l'ont notamment amené à s'intéresser à l'influence des labels décernés par la presse sur la consommation de produits musicaux : par exemple, les « *ffff* » de Télérama peuvent-ils faire le succès d'un album ? Observant une corrélation forte entre cette labellisation et le choix des consommateurs, Fabrice Larceneux a choisi de pousser davantage ses recherches en s'intéressant à l'industrie cinématographique. Il a alors décidé d'évaluer comment les critiques pouvaient influencer le résultat d'un film au box office. Les bonnes critiques, qu'elles émanent de professionnels ou aujourd'hui de simples amateurs diffusées sur un site Internet spécialisé (type allocine.com) peuvent-elles faire le succès d'un film ? Par quel mécanisme ?

### Internet, un nouveau modèle

Pendant longtemps, l'influence sur le box-office des premiers spectateurs se faisait de deux manières :

- Le bouche-à-oreille (*word-of-mouth*) : un spectateur parlait du film qu'il avait aimé à son entourage ;
- Les critiques publiées dans les revues spécialisées.

Dans ces deux cas, l'influence des opinions

émises par les tierces personnes semblait limitée. D'un côté car le bouche-à-oreille (réel, par opposition à sa version virtuelle) ne concerne qu'un nombre restreint d'individus. De l'autre, car l'écho de la presse spécialisée a un impact limité en dehors de son lectorat direct.

Récemment, le développement d'Internet et la diffusion exponentielle de l'information qu'il permet a radicalement modifié cette relation entre recommandations des tiers et fréquentation des salles. Pour les guider dans leurs choix cinématographiques, les spectateurs ont en effet accès sur le web à une multitude d'informations qui leur permet de croiser à la fois l'ensemble des critiques de professionnels et les opinions des spectateurs générant ainsi un bouche-à-oreille électronique explosif (*word-of-mouse*) ! Mais y a-t-il pour autant corrélation entre le *buzz*<sup>1</sup> généré par un film sur la toile et son succès au box-office ?

### Trois vecteurs de corrélation entre recommandations et succès au box-office

Fabrice Larceneux rappelle que trois liens sont possibles pour expliquer la nature de la relation entre le *buzz* généré par les critiques (de professionnels ou

1 - *Bourdonnement* en anglais. Terme qui fait référence au bruit généré par un produit ou un service et qui s'intègre dans la stratégie marketing du producteur, parfois à l'insu de ce dernier.

# Impact des recommandations des tiers et du *buzz* Internet sur les ventes : une application au domaine du cinéma

► d'amateurs) et le succès d'un film au box-office :

► **Effet de prédiction** : les recommandations trouvées sur Internet sont des indicateurs de la qualité perçue d'un film et permettent donc d'anticiper un succès ou un échec au box-office. Opinions et critiques du web ne font que refléter les opinions de l'ensemble des spectateurs et n'ont donc pas d'impact sur le box-office.

► **Effet miroir** : les informations présentes sur le web font échos au *buzz* qui a lieu en dehors d'Internet. Ce sont les magazines et le bouche-à-oreille dans le monde réel qui influencent le comportement des spectateurs potentiels. L'absence de critiques ou d'avis sur Internet n'aurait donc pas d'influence sur le box-office.

► **Effet de causalité** : les recommandations diffusées sur Internet influencent directement le choix des spectateurs (au même titre que la pression marketing par exemple). L'influence est également indirecte : ceux qui consultent les sites du type allocine.com influencent leur entourage. L'absence de recommandations sur des sites comme allocine.com modifierait de manière notable le box-office.

## Impact de la qualité et de la quantité des critiques des professionnels

Fabrice Larceneux montre dans un premier temps que le *buzz* lié aux critiques professionnelles est, contrairement à une idée assez répandue, indépendant de la pression commerciale (par exemple, le nombre de copies dont bénéficie le film à sa sortie ou la présence de stars). Concernant la valence de ces critiques (le fait qu'elles soient bonnes ou mauvaises), celles-ci ont un réel impact sur la vie du film après la première semaine. Dans ce cas, effets de prédiction et de causalité semblent tous les deux expliquer la corrélation.

## Impact de la qualité et de la quantité des avis des internautes

Il semble que, là encore, la pression marketing n'ait pas d'impact sur l'appréciation d'un film par les internautes. Fabrice Larceneux observe par ailleurs que, après la première semaine, l'étendue du *buzz* est un bon outil de prédiction de la fréquentation des salles. Il montre alors que les recommandations de ces « nouveaux critiques » peuvent directement influencer les

choix cinématographiques des spectateurs potentiels.

Des analyses statistiques temporelles montrent que les corrélations observées entre les recommandations des tiers et le box-office peuvent être finalement considérées pour une grande partie, et de plus en plus à l'avenir, comme relevant d'un phénomène causal : du fait de la visibilité toujours plus importante du site, notamment des leaders d'opinion, les spectateurs utilisent ces recommandations en ligne dans leur processus de décision.

## Des pistes pour l'avenir

Dans le cadre de futures recherches, le chercheur explore les effets des consensus intra (entre les critiques elles-mêmes) et inter (entre les critiques et les internautes). Ces niveaux de consensus amélioreraient significativement la qualité de la prédiction du box-office.

Dans le domaine environnemental, il mène, avec une équipe de Dauphine (Florence Benoit et Béatrice Parguel), plusieurs recherches : comment les évaluations des agences de notation peuvent transformer la perception qu'ont les consommateurs des pratiques sociétales affichées par les entreprises ? Comment les illusions de recommandations de tiers (les labels auto-décernés) peuvent influencer les capacités des consommateurs à identifier les pratiques de *greenwashing* ?



## INTÉRÊT DE CETTE RECHERCHE POUR L'INDUSTRIE CINÉMATOGRAPHIQUE

Cette recherche montre que la prise en compte du volume et de la valence des critiques présentes sur des sites web comme allocine.com permet de prédire la fréquentation des salles de cinéma. Ce résultat pourrait offrir aux producteurs et exploitants la possibilité de mieux ajuster les allocations de salles et fournir des arguments dans la renégociation des contrats de diffusion après la première semaine. Selon Fabrice Larceneux, les recommandations affichées sur des sites comme allocine.com pourraient également permettre à ces professionnels de développer des stratégies marketing plus adaptées à la nature particulière de certains films. Un film comme *Lady Chatterley* (Pascale Ferran, 2006) par exemple, a été évincé de nombreux écrans après la première semaine, alors qu'il avait reçues d'excellentes critiques. Pourtant, pressés par les impératifs financiers et face à l'incertitude de la fréquentation, ces exploitants n'ont pas laissé le temps au bouche-à-oreille de se développer, condamnant ainsi le film dès la deuxième semaine.

# Lignes géodésiques et Analyse d'images



## Laurent Cohen

Ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure de la rue d'Ulm, agrégé de mathématiques et titulaire d'un doctorat de Mathématiques de l'Université Paris 6 et d'un doctorat en Informatique de l'Université d'Orsay, Laurent Cohen est Directeur de Recherche 1ère classe au CEREMADE (UMR 7534) à l'Université Paris-Dauphine. Il enseigne par ailleurs les applications des modèles déformables et équations aux dérivées partielles en analyse d'images en Master 2 à Dauphine et à l'ENS Cachan.

Ses recherches sur les lignes géodésiques et la segmentation d'images sont notamment reprises dans une présentation qu'il a faite au Collège de France le 16 janvier 2009 : « Lignes Géodésiques et Segmentation d'images » (disponible sur sa page web personnelle<sup>1</sup>).

► D'après un entretien avec Laurent Cohen, Directeur de Recherche 1ère classe au CEREMADE à l'Université Paris-Dauphine et les travaux qu'il mène depuis plus de dix ans sur les lignes géodésiques et la segmentation d'images.

## LES TRAVAUX DE RECHERCHE DE LAURENT COHEN

Après une formation aux équations aux dérivées partielles, puis quelques années d'expérience chez Schlumberger et à l'INRIA, principalement en traitement d'images, Laurent Cohen s'est spécialisé dans les EDP et les méthodes variationnelles en analyse d'images. Ses recherches ont aussi bien porté sur la formulation mathématique des problèmes et leur résolution, que sur la mise en oeuvre effective de l'application en imagerie médicale, aérienne ou industrielle (notamment dans le cadre de collaborations avec Schlumberger, CEA, Matra et Philips). Depuis une dizaine d'années, une grande partie de ses travaux porte sur les chemins minimaux et lignes géodésiques, avec plusieurs brevets déposés concernant en particulier la recherche de ligne centrale d'un vaisseau et l'endoscopie virtuelle.

Aux travaux présentés ci-dessous, ont notamment participé G. Peyré (CEREMADE), S. Bogleux (GREYC UMR 6072) et R. Ardon, S. Bonneau et F. Benmansour, doctorants ou anciens doctorants à Dauphine.

Au 19ème siècle, Friedrich Robert Helmert, géodésien allemand, définit la géodésie comme « la science qui mesure et représente la surface terrestre ». Elle était alors surtout utilisée pour déterminer la distance entre deux points situés sur la Terre, exercice rendu difficile par sa forme sphérique. Plus récemment, le développement du traitement numérique des images a ouvert à la géodésie un autre champ d'application, domaine de recherche dans lequel Laurent Cohen est l'un des pionniers.

### Lignes géodésiques et application à l'imagerie numérique

L'un des principaux problèmes que cherche à résoudre l'analyse d'images consiste à extraire les contours d'une figure du plan. Par exemple, pour dissocier un personnage du fond sur une photographie. Pourtant, si les méthodes traditionnelles (modèles dits déformables), qui consistent à rechercher une courbe minimisant un critère, présentent bien des avantages, elles s'avèrent peu efficaces lorsque l'image est bruitée ou que les contours sont nombreux (risque de se retrouver dans un minimum local). D'où l'intérêt pour Laurent Cohen d'utiliser, dès 1997, une approche par lignes géodésiques qui permet de s'assurer de toujours trouver le chemin le plus court entre deux points pour isoler une région du plan. Laurent Cohen définit les lignes géodésiques tracées sur une surface comme « les lignes qui minimisent la distance entre deux points ». Distance qui peut être la plus courte au sens courant (en unité de longueur)

ou pondérée par divers paramètres<sup>2</sup>. Ces lignes géodésiques pondérées sont obtenues de manière rapide et efficace par une approche de propagation d'un front sur le domaine de l'image.

### Lignes géodésiques et structures tubulaires

Les lignes géodésiques sont également utiles pour représenter des structures tubulaires telles que les vaisseaux du corps humain. Cette application médicale a d'ailleurs permis à l'équipe de Laurent Cohen de collaborer avec Philips Medical Systems, un des ►►

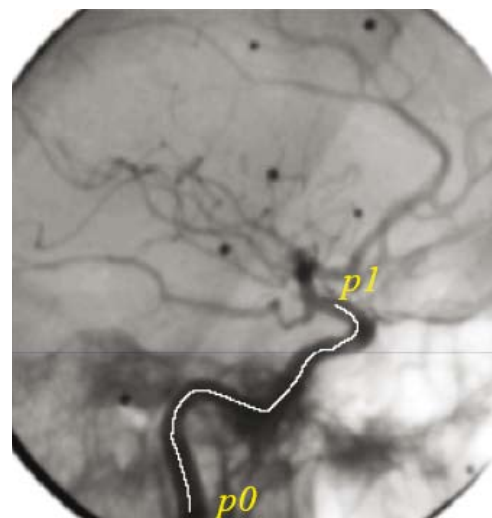


Schéma 1 :  
chemin minimal entre deux points sur un vaisseau du corps humain

1- <http://www.ceremade.dauphine.fr/~cohen/>

2- En imagerie les points peuvent par exemple être pondérés par les niveaux de gris. Le plus court chemin pourra alors être le tracé le plus clair permettant ainsi d'identifier une route sur une vue aérienne ou une artère en imagerie médicale.

# Lignes géodésiques et Analyse d'images

▶▶ leaders mondiaux de l'imagerie médicale. L'objectif de cette collaboration était de développer un outil interactif et rapide pour représenter les vaisseaux du corps humain en définissant deux points sur le vaisseau, puis en laissant ensuite l'ordinateur définir le chemin d'accès le plus court entre eux (cf. schéma 1). Cette technique permet de visualiser les vaisseaux et dans un second temps, par exemple, d'en mesurer l'épaisseur.

## L'utilisation de la ligne centrale

Un autre intérêt majeur des lignes géodésiques en matière d'imagerie est de permettre un suivi optimal de la forme du vaisseau en définissant la ligne centrale (formée par l'ensemble des points situés à la même distance des bords) qui parcourt la structure tubulaire. Cette propriété est particulièrement intéressante pour l'endoscopie virtuelle (sans caméra) : l'ensemble du trajet que parcourrait une véritable caméra dans le tube (vaisseau ou côlon par exemple) est générée virtuellement à partir d'images numériques. Enfin, l'utilisation de ligne centrale et fixe au cœur de la structure tubulaire est utile pour l'imagerie en trois dimensions puisqu'elle permet une projection de l'image du vaisseau sur un plan et une navigation virtuelle autour de la structure.

## Une représentation de proche en proche

Récemment, les recherches menées par Laurent Cohen et son équipe les ont amenés à développer une nouvelle approche de représentation. Ils peuvent désormais se passer de la définition préalable d'un point de départ et d'un point d'arrivée : le point de départ suffit ! Par exemple, pour déterminer le contour d'une forme géométrique, ils définissent un

point d'origine puis ajoutent des points clés intermédiaires (cf. schéma 2). Cette méthode plus fine encore que la précédente permet de définir un contour à partir d'un unique point. Le procédé s'étend à l'extraction et la représentation en trois dimensions et permet également de représenter toute une surface.

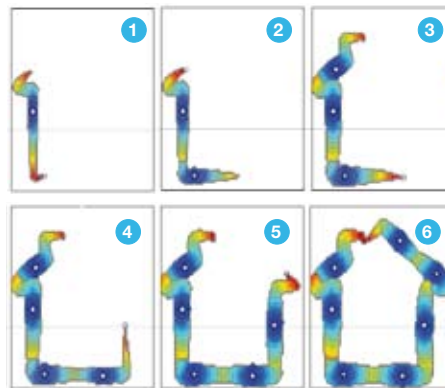


Schéma 2 : représentation du contour proche d'une figure géométrique en augmentant le chemin minimal et en ajoutant des points clés

## Ligne géodésique anisotrope

Les travaux de Laurent Cohen et de son équipe portent également sur l'utilisation de lignes pondérées par la direction des chemins. L'idée est d'affiner les représentations en pénalisant les trajectoires qui ne sont pas cohérentes avec

l'estimation a priori de la géométrie de l'image. Il ne s'agit donc plus pour le modèle de définir uniquement le chemin le plus court entre deux points mais également de pondérer les distances en intégrant les orientations et épaisseurs probables des structures tubulaires. Par exemple, pour chaque trajectoire de vaisseau, cela renforce la cohérence avec la géométrie de l'image et permet d'obtenir à la fois l'axe central et la région entourant le vaisseau (cf. schéma 3).

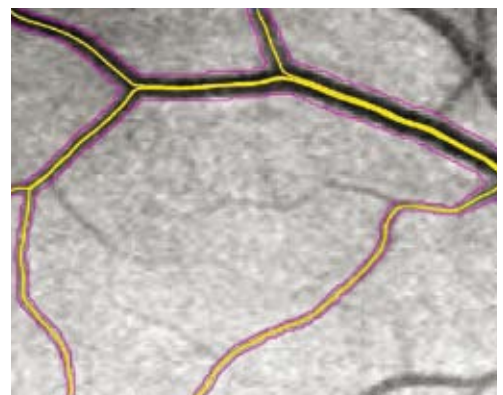


Schéma 3 : représentation de vaisseaux par la méthode des lignes géodésiques anisotropes

## APPLICATION AU MAILLAGE DE SURFACE

Les lignes géodésiques permettent également de remailler des surfaces. L'idée est de réaliser un maillage de plus en plus précis d'une surface tout en garantissant la régularité des différentes mailles (distances géodésiques similaires). Mieux, les lignes géodésiques permettent d'adapter le maillage à la surface concernée. Par exemple, si des précisions sont plus utiles à certains points de la figure à représenter, les distances géodésiques peuvent être pondérées pour plus d'exactitude. Cela peut notamment servir à la représentation des visages, où certaines parties (comme les lèvres ou les yeux) nécessitent plus de précisions que d'autres (cf. schéma 4).

Aujourd'hui, l'équipe de Laurent Cohen travaille sur le maillage des images non plus dans un souci de représentation, mais de compression. Il s'agit de faire varier la précision du maillage en fonction des zones d'une image afin d'utiliser le moins d'information possible pour permettre une compression maximale des images tout en garantissant leur fidélité.



Schéma 4 : application des lignes géodésiques au maillage d'un visage

