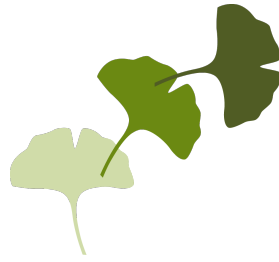


[mis à jour décembre 2015]



La Chaire Finance et Développement Durable Bilan et perspectives

La Chaire Finance et Développement Durable – Approches Quantitatives, qui bénéficie du mécénat de Crédit Agricole CIB et EDF, a été créée en 2006 sous l'égide de la Fondation Institut Europlace de Finance. Elle a pour partenaires académiques l'Université Paris-Dauphine et l'Ecole Polytechnique. En 2012, Après cinq années d'un développement exemplaire, de par la qualité des échanges scientifiques et des travaux réalisés, les différents partenaires ont décidé de prolonger ce projet pour cinq années supplémentaires.

Les pages qui suivent contiennent une présentation de la chaire et de son programme scientifique pour la période 2012-2016.

- I. INTRODUCTION
- II. 4 THEMATIQUES
- III. EQUIPE 2015



I. Introduction

Une gouvernance innovante

Première chaire de recherche créée au sein de la fondation Institut Europlace de Finance, la Chaire Finance et Développement Durable avait inauguré un mode de gouvernance reposant sur trois instances :

1. Un Comité d'Orientation, présidé par Didier Valet, rassemblant les mécènes et les parties prenantes académiques et validant le budget et les orientations scientifiques,
2. Un Conseil Scientifique, présidé par Pierre-Louis Lions, qui vérifie la qualité des travaux produits chaque année et valide les propositions nouvelles arrivant en cours de projet. Le Conseil Scientifique est composé de personnalités scientifiques d'un niveau exceptionnel, il comprend deux professeurs du Collège de France : Pierre-Louis Lions et Roger Guesnerie ; deux professeurs de l'Université de Princeton: José Scheinkman et René Carmona; deux professeurs de l'Ecole Polytechnique: Nizar Touzi et Emmanuel Gobet; deux professeurs de l'Université Paris Dauphine : Delphine Lautier et Jan Horst Keppler. Il comprend également Pierre-Noël Giraud, Professeur à l'ENSMP, Ivar Ekeland, Professeur émérite à l'Université Paris-Dauphine et Jean-Charles Rochet, Professeur à l'Université de Toulouse.
3. Un Comité de Pilotage, présidé par Jean-Michel Lasry, qui gère au quotidien les activités de recherche (choix des missions, organisations des événements, choix des financements des sujets précis...)

De la recherche fondamentale à la recherche appliquée : de découvertes au retentissement mondial au développement des *Initiatives de recherche*

Les premiers travaux réalisés dans le cadre de la Chaire avaient pour caractéristiques, premièrement, de relever de la recherche fondamentale et, deuxièmement, d'avoir été réalisés par des chercheurs seniors qui ont donné une impulsion décisive à ce projet scientifique. Après que les premières percées eurent été réalisées, les recherches plus appliquées ont vu le jour. Deux champs de recherche illustrent parfaitement cette évolution : les recherches sur les jeux à champ moyen et les recherches sur les taux écologiques.

Les *jeux à champ moyen* sont une nouvelle approche de modélisation en sciences sociales, développée par Pierre-Louis Lions et Jean-Michel Lasry, inspirée des outils de la mécanique statistique et de la physique quantique. Cette approche est particulièrement efficace pour appréhender les phénomènes d'externalités dans des contextes qui font intervenir un grand nombre d'agents. Alors que les premiers travaux ont consisté en l'étude de la structure et des propriétés mathématiques de cette nouvelle gamme de modèles, un certain nombre d'applications à l'économie ont vu le jour depuis. Les *taux d'intérêt écologiques* sont une nouvelle manière d'aborder



la question centrale du taux d'actualisation utilisé pour des projets à long terme engageant une dimension de développement durable. Les premières avancées théoriques réalisées par Roger Guesnerie et Ivar Ekeland se situaient à un niveau très fondamental et général. Ces réflexions nourrissent aujourd'hui des travaux plus appliqués comme la gestion du risque climatique pour une banque de financement et d'investissement.

En 2008, les responsables de la chaire ont développé un mode de contractualisation souple pour la réalisation de programmes de recherche fléchées : les **Initiatives de Recherche**. Ces dernières permettent à un partenaire industriel de faire réaliser un programme de recherche sur une durée plus courte que dans le cas d'une chaire et sur un thème plus précis. Ainsi, les sponsors financent aujourd'hui des *Initiatives de Recherche* sur des thématiques fléchées EDF sur le thème de la finance des marchés de l'énergie, le Crédit Agricole sur le thème de l'assurance récolte, en partenariat avec Pacifica et Airbus Defence & Space. Deux facteurs furent déterminants pour le développement des Initiatives de recherche. Tout d'abord, elles ont pu s'appuyer sur le conseil scientifique de la chaire Finance et Développement Durable qui examine et contrôle les travaux des Initiatives de recherche. Précisons que les Initiatives de recherche possèdent un comité d'orientation et un comité de pilotage qui leur sont propres. Les Initiatives de recherche ont également bénéficié des percées réalisées au sein de la Chaire dans le champ de la recherche fondamentale.

II. LES 4 THEMATIQUES DE LA CHAIRE

Les thématiques qui constituent aujourd'hui l'ossature des recherches sont :

- Jeux à champ moyen
- Choix économique et développement durable
- Finance des marchés de l'énergie, marchés du CO2
- Risque long terme et méthodes quantitatives

1. Les jeux à champ moyen

La création de la Chaire FDD en 2006 a joué un rôle important dans l'émergence de la théorie des jeux à champ moyen (MFG). Cette théorie a en effet été originellement développée pour fournir des méthodes mathématiques adaptées à la modélisation des externalités en économie, problématique centrale pour les questions de développement durable.

La Chaire a ensuite soutenu le développement de recherches théoriques et appliquées des MFG à différentes questions rentrant dans les axes de recherche de la Chaire. Au fil des années la théorie MFG a connu un développement important, tant du point de vue théorique que du point de vue des applications. Il y a désormais une communauté scientifique internationale de chercheurs sur les MFG. Plusieurs congrès internationaux sur les MFG sont organisés chaque année..



Depuis 2010, JM Lasry et PL Lions mettent particulièrement l'accent sur les travaux théoriques et appliqués concernant des modèles incluant du risque systémique. La formulation et la résolution des équations fondamentales des modèles MFG pour les collectivités soumises à des aléas globaux (c'est-à-dire des aléas communs à tous les agents) a été achevée, ouvrant la voie à de nouvelles applications à des sujets de développement durable, comme par exemple la modélisation du prix optimal des permis à polluer.

De façon générale, les progrès réalisés sur le plan de la conception mathématique des jeux à champ moyen permettent aujourd'hui le développement d'applications variées. Ainsi sont poursuivis les travaux sur les matières premières et l'économie des ressources épuisables (en collaboration avec Olivier Guéant et Pierre-Noël Giraud) : il s'agit notamment d'étudier les interactions prix/capacités dans l'industrie pétrolière et, plus généralement, de modéliser les fluctuations des prix des matières premières. D'autres travaux en cours, conduits par Jean-Michel Lasry et Pierre-Louis Lions portent sur une nouvelle modélisation de la liquidité, en microstructure des marchés financiers. En 2013, des travaux avec B.Moll (Princeton) ont permis d'avancer sur des modèles macro économiques avec agents hétérogènes et chocs systémiques (avec notamment la possibilité de modéliser les chocs dus à des effets d'annonce).

2. Choix économique et développement durable

Les recherches sur ce thème avaient été initiées par les travaux d'Ivar Ekeland sur le *risque de long terme* et de Roger Guesnerie sur *les taux écologiques*. Dans le cadre de la Chaire, Roger Guesnerie, Olivier Guéant et Jean-Michel Lasry ont cherché à développer un cadre plus général pour les taux écologiques et la microfondation du principe de précaution.

L'évaluation du risque carbone dans les portefeuilles d'une BFI est une préoccupation des acteurs et des régulateurs car elle correspond à des enjeux croissants sur le plan économique et celui de l'environnement. La Chaire FDD a fait de ce thème de recherche un axe important. Les travaux menés sous la direction de Pierre Noél Giraud, en particulier la thèse d'Antoine Rose, ont permis des avancées conceptuelles et opérationnelles qui ont été présentées au colloque Guesnerie-Sternier au Collège de France le 30 octobre 2015 par Antoine Rose et Mathilde Girard (CA-CIB).

Pour poursuivre cet axe de recherche, une nouvelle thèse sera lancée en 2016 sur l'évaluation du risque carbone dans les portefeuilles d'une BFI (dans le prolongement de la thèse d'Antoine Rose).



3. Finance des marchés de l'énergie, marchés du CO2

Les recherches sur ce thème sont poursuivies dans des directions variées. La *formation des prix des matières premières* a fait l'objet d'une étude théorique conduite par Delphine Lautier, Ivar Ekeland et Bertrand Villeneuve. Il s'agit d'un modèle de formation des prix au comptant et des prix à terme des matières premières, qui permet d'analyser en détail les relations s'établissant entre le marché physique et le marché papier. Il permet de mettre en évidence le rôle du stockage, celui du marché à terme, celui des spéculateurs. Ce travail est actuellement développé dans quatre directions :

1. Une date intermédiaire a été introduite dans le modèle, autorisant des transactions supplémentaires sur le marché papier. Cette modélisation permet de prendre en compte la plus grande liquidité du marché dérivé relativement au marché au comptant. Dans ce contexte, les prix sont modifiés, sauf dans un cas : lorsque tous les opérateurs ont le même horizon de transaction.
2. Le modèle est étendu dans un contexte stationnaire. Ce travail sera potentiellement développé dans le cadre de la thèse d'Edouard Jaeck.
3. Afin de préciser l'impact de la spéculation sur les prix, une nouvelle forme de profit a été introduite pour les spéculateurs, qui interviennent à présent pour diversifier leur portefeuille, parce qu'ils considèrent les matières premières comme une classe d'actifs. Cette partie du travail est intégrée dans la thèse de Mohammad Isleimeyyeh.
4. Nous étudions, avec Mohammad Isleimeyyeh, l'interaction entre deux marchés de matières premières lorsque les spéculateurs ont la possibilité d'intervenir sur le marché dérivé de chacune de ces deux marchandises.

Dans cet axe, se trouve également le travail en cours de Delphine Lautier, Luciano Campi et René Aïd sur *l'effet de la rareté* sur la relation dynamique entre prix au comptant et prix à terme des matières premières stockables ou non.

Cet axe inclut également les travaux de Pierre-Noël Giraud et Jean-Michel Lasry sur : (1) la modélisation MFG de la courbe d'offre d'une commodité minérale où la structure de marché est un oligopole de Stackelberg ; (2) et sur le développement du modèle de simulation de la recherche pétrolière en situation d'oligopole.

Les travaux portant sur *les décision d'investissement, la valorisation et la mesure de risque* permettent d'explorer différents aspects de l'économie du gaz (stockage et pouvoir de marché, stratégie d'investissement et contrat de long terme, rôle des fondamentaux dans la valeur des actifs), de l'électricité (régulation du marché, dynamique d'investissement et incitation aux investissements de pointe, lien entre politique environnementale et politique de la concurrence) et de l'énergie en général (question de fiscalité). Ce thème couvre également les questions de gestion des risques et d'assurance (assurance contre les risques naturels et industriels). On s'intéresse également dans cet axe à l'évolution en cours des systèmes électriques lié à l'introduction des énergies renouvelables intermittentes.



En outre des travaux plus orientés vers les applications sont poursuivis, ils concernent premièrement la gestion opérationnelle des actifs (par exemple l'optimisation d'actifs de production d'électricité –ou autres– dans un contexte de marché). Ils concernent, deuxièmement, l'étude des Modèle d'entreprise et gestion des risques financiers : il s'agit d'étudier la place de la gestion des risques financiers dans l'organisation des entreprises. On peut citer les travaux en cours entre Xavier Warin et Stéphane Villeneuve sur la valeur de la firme effectuant des investissements en production, les travaux d'Alfred Galichon et de Clémence Alasseur sur les indicateurs de risques financiers corporate.

La question de la politique de subvention pour une migration vers une technologie verte a été abordée dans un travail récent de René Aïd, Zhenjie Ren et Nizar Touzi. Il s'agit d'un modèle simplifié où il existe deux technologies de production. La première est polluante, équipe la totalité des capacités de production en début d'analyse, a un bas coût d'investissement et un coût opérationnel relativement élevé. La deuxième technologie est non polluante, complètement absente en début de la période d'analyse, a un coût opérationnel nul et un haut coût d'investissement. Nous formulons le problème de gestion optimal d'un planificateur qui subventionne la mutation vers la technologie non polluante avec un objectif de réduction des émissions à horizon donné. Les agents de production ont également accès à un marché de certificats d'émissions du type cap-and-trade avec un prix endogène de l'externalité. La décision optimale dans le cadre de ce modèle est caractérisée par un système d'équations aux dérivées partielles non linéaires. Les résultats numériques montrent que la migration vers la technologie verte induit un rapide écroulement des prix des certificats d'émission, en conformité avec l'actualité récente des marchés d'émissions de carbone. Nous examinons également les effets de différentes politiques de subvention.

Enfin, cette thématique inclut un travail en grande dimension, initié en 2009 dans le cadre du post doc de Franck Raynaud, financé par la chaire Développement Durable et le Conseil Français de l'Energie. Dans ce contexte, on s'intéresse à la propagation des chocs dans les marchés énergétiques. L'idée est d'appréhender le risque systémique dans les marchés dérivés. Trois dimensions sont simultanément considérées : le temps, l'espace, et la maturité des transactions. Pour ce faire, nous empruntons aux méthodes et modèles de la physique statistique.

Aujourd'hui, la collaboration initiée avec Franck Raynaud (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) se poursuit. Le travail inclut également Julien Ling, qui débute sa troisième année de doctorat à Dauphine sur ce thème, et Michel Robe (Washington University).

Le travail est prolongé dans plusieurs directions : i) l'analyse détaillée des situations de crise (telles que la faillite de Lehman Brothers et la crise des subprimes) ; ii) l'identification du sens de propagation des chocs. Sur ce second point, les questions posées sont les suivantes : les transmissions de fluctuations de prix vont-elles bien, comme le voudrait le fonctionnement correct d'un marché dérivé, du marché physique vers le marché papier ? La financiarisation des marchés n'introduit-elle pas de nouveaux chocs, se transmettant du marché papier au marché physique ? Comment modéliser de tels phénomènes ?



4. Risque long terme et méthodes quantitatives

Les travaux menés sur cette thématique, sous la responsabilité scientifique de Nizar Touzi, portent sur le développement de techniques de couverture et d'évaluation robustes au risque d'illiquidité et de fréquence de couverture, au risque de modèle et au risque de contagion. La mise en œuvre des solutions proposées fait apparaître de nouvelles méthodes numériques qui sont également explorées.

Illiquidité (Possamai, Soner, Touzi): dans un travail en collaboration avec Mete Soner (ETH Zurich), nous examinons le développement en petits coûts de transaction de la fonction valeur du problème de gestion de portefeuille de devises. Un tel modèle offre la possibilité d'échanger n'importe quel actif contre un autre, contrairement au modèle à d actifs où toutes les transactions passent par le compte monétaire. La fonction valeur est caractérisée par une inéquation variationnelle non linéaire en grande dimension. Le développement asymptotique permet d'obtenir une solution approchée et d'en déduire une stratégie d'investissement optimal. Comme dans le cas univarié résolu dans un article précédent, le développement n'est pas simple à anticiper, et fait appel à des techniques fines d'homogénéisation. Des simulations numériques de l'approximation du premier ordre montre des comportements optimaux non attendus, comme la perte de convexité des régions de transfert d'un actif à un autre.

Couverture discrète optimale (E. Gobet, N. Landon, M. Rosenbaum, P. Tankov): Le problème de choix optimal des instants de mise à jour discrète de la couverture est bien compris dans la littérature dans le cadre d'une grille de temps déterministe. Le cadre d'une grille de temps d'arrêt a été considéré d'abord par M. Fukasawa, puis étendu par Rosenbaum et Tankov. Gobet et Landon proposent un nouveau critère plus réaliste qui porte sur les aspects trajectoriels de la couverture, et arrivent à une solution complète du problème avec des temps d'atteinte successifs d'ellipsoïdes aléatoires explicites (en fonction des sensibilités du modèle et des flux à couvrir). Les nouveaux outils développés permettent également de prendre en compte les coûts de transaction apparaissant lors des rebalancements, en proposant là encore des temps d'intervention optimaux. De nouveaux travaux portent sur la robustesse des stratégies de rebalancement face à une incertitude sur le modèle. Ce type de résultats a aussi des ramifications dans le choix de grille de discrétisation en temps de processus stochastiques. Des résultats complémentaires liés à l'étude des temps d'atteinte d'ellipsoïde sont en cours.

Bornes de non arbitrage sur les prix des dérivés sous contraintes de marginales (P. Henry-Labordère, S. Kalblad, G. Royer, X. Tan, N. Touzi) : Dans une optique d'évaluation et de couverture robuste au risque de modèle, il est naturel d'utiliser l'information disponible sur le marché sans aucune hypothèse supplémentaire sur la modélisation. La condition de non arbitrage implique des conditions sur la dynamique du processus des prix (martingales si aucune contrainte). L'observation des prix de certains instruments dérivés constitue une deuxième source d'information qui restreint le processus du prix de l'actif sous-jacent. Ainsi, la connaissance des prix des options européennes pour une maturité donnée détermine complètement la distribution marginale à cette date. Les bornes sur les prix des dérivés s'obtiennent



par maximisation/minimisation des prix sur l'ensemble de toutes les martingales à marginale donnée. Il s'agit d'un nouveau problème de transport avec de nombreuses nouvelles questions. De nombreux travaux ont été produits par l'équipe, faisant le lien avec les inégalités de martingales, le problème d'embedding de Skorohod, et les processus croissants pour l'ordre convexe.

Hasard moral en gestion dynamique du risque (J. Cvitanic, D. Possamaï) : Il s'agit d'un travail en collaboration avec Jakša Cvitanic (Caltech) qui s'intéresse à la contractualisation optimale entre un investisseur (Principal) et un gestionnaire de portefeuille (Agent) dans une situation où le principal manque d'information. De tels problèmes dits de Principal-Agent ont été étudiés très largement dans la littérature économique. Le cadre dynamique en temps continu est devenu accessible grâce à un travail de Sanikov, qui ne couvre pas le cadre de la gestion du portefeuille. Les outils développés récemment dans la contexte des équations différentielles stochastiques du second ordre se révèlent être adaptés pour étendre l'approche de Sanikov à notre cadre.

Nous obtenons des contrats optimaux qui dépendent linéairement de la valeur du portefeuille (l'output) et de sa variation quadratique. Cette dernière dépendance est nouvelle dans cette littérature et correspond à l'idée de rémunérer le gestionnaire non seulement en fonction du profit réalisé, mais aussi en fonction du risque encouru tel qu'il est mesuré par la variation quadratique.

EDSR et Méthodes numériques (F. Bonnans, B. Bouchard, R. Elie, A. Fahim, E. Gobet, P. del Moral, N. Oudjane, D. Possamaï, X. Tan, Touzi, X. Warin) : La grande majorité des problèmes traités conduisent à des solutions caractérisées comme solutions d'équations aux dérivées partielles non linéaires, souvent en grande dimension. De nombreux progrès ont été réalisés dans l'approximation des solutions par les méthodes probabilistes qui ont vocation à mieux aborder la grande dimension. Les méthodes de régression ont connu plusieurs développements dans le cadre de notre groupe. De nombreuses recherches originales sont actuellement en développement comme par exemple la parallélisation de ces méthodes et la mise en oeuvre sur cartes graphiques par E. Gobet, J. Salas (La Coruna Univ.), P. Turkedjiev, C. Vasquez (La Coruna Univ.); ou la sélection adaptative des bases de régression pour obtenir la meilleure approximation possible pour un effort de calcul donné (techniques de sélection de modèle par pénalisation, E. Gobet et L. Zwald de l'Univ. Joseph Fourier), ou la mise en oeuvre de méthodes d'échantillonnage préférentiel pour prendre en compte les événements rares dans les problèmes de contrôle stochastique (E. Gobet, P. Turkedjiev), ou l'utilisation des processus de vie et de mort afin d'éviter les régressions. Ces méthodes sont liées aux équations différentielles stochastiques rétrogrades. Des résultats d'existence et d'unicité ont été obtenus récemment. Là encore, de nombreuses questions intéressantes restent à explorer : qu'en est-il du cadre couplé avec des équations progressives, ou encore d'une version champs moyen de ces équations. Ces axes seront explorés dans les travaux futurs de notre équipe.

Une nouvelle approche a été explorée récemment par Nizar Touzi et Jianfeng Zhang (University of Southern California). Il s'agit de voir les EDSR comme des équations aux dérivées différentielles dépendant du chemin, et d'adapter la théorie des solutions de viscosité de P.-L. Lions et M. Crandall à ce cadre. Cette approche ouvre



en particulier de nouvelles portes pour les méthodes numériques grâce aux propriétés de stabilité des solutions de viscosité.
 Enfin des approches par développement asymptotique en petite non-linéarité ou faible interaction sont actuellement développées (E. Gobet, S. Pagliarani, P. Turkedjiev), ce qui permet d'obtenir des formules semi-explicites qui s'adaptent très bien à la dimension grande.

III. CHERCHEURS ET INTERVENANTS 2015

	Affiliation	Projet de recherche
Yves Achdou	Professeur à L'université Paris-Diderot	Chaire FDD
René Aïd	Ingénieur chercheur EDF R&D, Membre du Comité de Pilotage de la Chaire	IdR FiME
Clémence Alasseur	Ingénieur chercheur EDF R&D, Membre du Comité de Pilotage de la Chaire, Directrice de l'IdR Finance des marchés de l'énergie	IdR FiME
Bruno Bouchard	Professeur à l'Université Paris Dauphine	IdR Risque et Assurance de l'Agriculture
Imen Ben Tahar	Maitre de conférences, Université Paris-Dauphine	Chaire FDD / IdR FiME
Frédéric Bonnans	Directeur de recherches, INRIA	IdR FiME
Luciano Campi	Professeur à l'Université Paris 13	IdR FiME
René Carmona	Professeur à l'Université de Princeton	Chaire FDD / IdR FiME
Pierre Del Moral	Directeur de recherches INRIA	IdR FiME
Ivar Ekeland	Professeur à l'Université Paris Dauphine	Chaire FDD / IdR FiME
Romuald Elie	Maitre de conférences, Université Paris-Dauphine	IdR FiME
Olivier Féron	Ingénieur chercheur EDF R&D	IdR FiME
Damien Fessler	Post-doctorant, Coordinateur des activités de la Chaire	Chaire FDD
Danielle Florens	Professeur émérite à l'Université Paris Dauphine	Chaire FDD
Didier Folus	Professeur à l'Université de Paris Ouest Nanterre	IdR Risque et Assurance de l'Agriculture
Pierre-Noël Giraud	professeur à l'ENSMP	Chaire FDD
Emmanuel Gobet	Membre du comité de pilotage, du conseil	IdR FiME



	scientifique, Professeur à l'Ecole Polytechnique	
Roger Guesnerie	Membre du conseil scientifique Professeur au Collège de France	Chaire FDD
Marc Hoffman	Professeur à l'Université Paris Dauphine	IdR FiME
Jean-Michel Lasry	Président du Comité de Pilotage de la Chaire, Professeur associé à l'Université Paris-Dauphine	Chaire FDD / IdR FiME
Delphine Lautier	Membre du Comité de pilotage et du Conseil scientifique, Professeur à l'Université Paris-Dauphine	Chaire FDD / IdR FiME
Pierre-Louis Lions	Président du Conseil Scientifique de la Chaire, Professeur au Collège de France	Chaire FDD
Nadia Oudjane	Ingénieur chercheur EDF R&D	IdR FiME
Huyên Pham	Professeur à l'Université Paris-Diderot	IdR FiME
José Scheinkman	Professeur à l'Université de Princeton	Chaire FDD
Denis Talay	Directeur de recherches INRIA	Chaire FDD
Nizar Touzi	Membre du Comité de Pilotage, Vice-président du Conseil Scientifique de la Chaire, Professeur à l'Ecole Polytechnique	Chaire FDD / IdR FiME
Bertrand Villeneuve	Professeur à l'Université Paris Dauphine	IdR FiME
Xavier WARIN	Ingénieur chercheur EDF R&D	IdR FiME

