

**Proposition pour la mise en place d'un
Laboratoire Virtuel avec les Pays du Sud**

Vers une école doctorale franco-africaine :

***Modélisations et Applications Thématiques
(MAT)***

Alain Cardon

Professeur des Universités

Délégation à l'IRD Centre d'Ile-de-France, UR Géodes

Mai 2003

Présentation du projet

1- Les objectifs

La France s'est dotée, depuis quelques années, des structures de formation pour la recherche que sont les École Doctorales, en appliquant le principe de la thèse unique. Ces Écoles permettent l'organisation stratégique des thèses de doctorat, en s'appuyant sur des laboratoires fortement évalués, et ce de manière à dégager des pôles d'excellence régionaux. Il n'y a pas de structures équivalentes sur le continent africain et la recherche y souffre d'un manque de cohérence et d'évaluation dommageable.

Il s'agit, dans ce projet, de mettre en place pour la rentrée universitaire prochaine, un *Laboratoire Virtuel* maillant des laboratoires de recherche africains de bon niveau scientifique, en étroite collaboration avec des laboratoires de l'IRD et l'UPMC Paris 6. Le thème retenu, et qui semble le plus aisé à suivre pour un tel montage structurel, est celui de la **Modélisation des Systèmes Complexes avec Applications Thématiques**. Les recherches dans le domaine des systèmes complexes s'appuient en effet principalement sur les mathématiques appliquées et la simulation informatique et voient les résultats théoriques produits systématiquement confrontés avec la réalité expérimentale. Une telle structure doctorale doit permettre de développer un partenariat Nord – Sud très fort, de piloter une recherche à la fois de très haut niveau et respectant les politiques scientifiques des pays concernés. Elle doit permettre de développer des recherches appliquées de grande envergure, et exemplaires, entre la France et l'Afrique.

Pour développer de telles relations scientifiques, il est nécessaire d'établir des liens très étroits et pérennes avec des équipes d'universitaires africains, avec des laboratoires présentant un fort potentiel de croissance, et d'établir également des relations suivies avec les Ministères de la Recherche des États concernés. Nous proposons de mettre en place un réseau de laboratoires constituant un Laboratoire Virtuel dès la rentrée prochaine, en constituant une structure de pilotage franco-africaine essentiellement constituée de chercheurs de rang A, et en lançant une quarantaine de thèses de doctorat, co-encadrées et réparties sur le continent africain. Les concepts-clefs pour réussir à faire fonctionner un tel Laboratoire Virtuel sont :

- Existence de liens organiques assurant le transfert des informations,
- Contrôle permanent,
- Exigence systématique de qualité de la production scientifique,
- Cohérence très forte des thèmes des recherches et travail collectif,
- Stratégies de carrière des chercheurs.

En ne respectant pas ces contraintes, de nombreux projets montés de par le passé avec la meilleure volonté du monde, ont conduit à des échecs patents.

Cette structure en Laboratoire Virtuel, de type réseau d'excellence, présente l'avantage de s'adapter aux situations locales, de s'extraire des pesanteurs administratives, d'irriguer en fait tout le continent africain et d'être évaluable selon des aspects à la fois locaux et globaux. Il s'agit d'une structure souple, adaptative, évolutive, et qui demande de faibles moyens pour le maximum de résultats : il s'agit de distribuer des allocations de thèses, de financer les

conduites de thèses, de financer des missions, de financer un peu de fonctionnement, de mettre en place une infrastructure sérieuse en réseau par l'usage systématique des nouvelles technologies en étendant Renater.

2 - La structure et les objectifs du Laboratoire Virtuel

Nous proposons donc la mise en place d'une structure de formation doctorale franco-africaine sur le thème de la *Modélisation et des Applications Thématiques*. Le champ d'étude est celui du traitement de la complexité des phénomènes et de la conception des systèmes organisationnellement complexes, avec des applications à tous les domaines des sciences expérimentales et des sciences sociales. Il s'agit donc de recherches pluridisciplinaires, mais centrées quand même sur le développement de modèles théoriques nouveaux abordant de front la complexité.

Le noyau de la structure que nous souhaitons créer serait un Laboratoire Virtuel multi-sites, qui permettrait de cadrer et de gérer la recherche dans les équipes des universités de certains pays du Sud. Ce Laboratoire Virtuel permettrait de coordonner des recherches Nord-Sud, de les évaluer stratégiquement à partir d'une expansion des recherches du Nord et d'une structuration forte des recherches au Sud. Il s'agit d'abord de dégager des thèmes de recherche communs, approfondis sélectivement dans les laboratoires du réseau et systématiquement partagés.

À partir d'un réseau de quelques laboratoires africains travaillant sur des thèmes pluridisciplinaires, fortement connectés entre eux et dont certains sont déjà de stature internationale, il sera possible de former des doctorants dans de nombreux pays africains, en les accueillant dans ces laboratoires, et ceci en coordination étroite avec les structures de recherches de l'IRD et de l'Université Pierre et Marie Curie. Tout doctorant aurait ainsi un double encadrement et une double thèse, une dans son pays d'origine et une thèse de l'Université Paris 6.

Les recherches, basées sur la modélisation des systèmes complexes, auraient donc une finalité triple :

- former des chercheurs, restant sur place et faisant école, formant eux-mêmes, par la suite, d'autres chercheurs spécialistes de la modélisation des systèmes complexes,
- former les chercheurs appliqués indispensables à l'industrie, l'économie et les grandes institutions d'État,
- produire, en collaboration avec les chercheurs des disciplines expérimentales présentes sur place, des recherches scientifiques de très haut niveau dans les domaines théoriques ainsi que des applications utiles au développement dans les pays du Sud et du Nord.

La formation doctorale proposée aurait pour vocation :

- la conduite de thèses en co-tutelles,
- la mise en place d'enseignements communs à tous les partenaires de l'École Doctorale en privilégiant l'usage des nouvelles technologies de l'information et des communications,
- la finalité de faire soutenir des Habilitations à Diriger des Recherches pour les enseignants-chercheurs africains co-encadrant les doctorants (ou des thèses d'État), ce qui permettrait leur attachement aux structures universitaires de leurs pays, en y dirigeant des équipes et

des laboratoires et en étant promu par la suite à la fonction de professeur des universités. Cela permettrait évidemment de conforter de manière durable les liens avec la France.

Les premiers nœuds de ce réseau seraient situés à Marrakech, à Dakar, à Yaoundé et au Cap. D'autres nœuds sont actuellement recherchés, en Afrique du Nord et en Afrique de l'Est.

Le Laboratoire Virtuel sera piloté et évalué par un Conseil de Direction franco-africain, essentiellement composé de chercheurs seniors ayant une audience internationale.

Le maillage physique du Laboratoire Virtuel se ferait grâce à un réseau haut débit et serait réalisé comme une extension de Renater. Le projet est actuellement en discussion avec le GIS Renater. Le coût d'utilisation et d'administration du réseau serait assuré par les pays africains eux-mêmes, par leurs Centres de Calculs nationaux ou universitaires.

3 – Le domaine scientifique

La notion de complexité organisationnelle est une notion d'importance majeure quant à l'explication de phénomènes du monde auxquels on s'intéresse aujourd'hui. Il s'agit d'appliquer simultanément sur les phénomènes étudiés, différentes approches scientifiques où chacune produit une connaissance partielle et où l'on remarque différentes échelles d'organisation interférant systématiquement entre elles. Les phénomènes étudiés sont fortement évolutifs, le processus de mesure des variables pertinentes est délicat, car altérant le déroulement du phénomène lui-même. L'étude des systèmes organisationnellement complexes revient à décrire la structure et l'organisation donnant explication comportementale et prédictive des phénomènes de ce type.

Tous les écosystèmes, tous les systèmes centrés sur le vivant et tous les systèmes sociaux, dans leur comportement et leur évolution, sont des exemples de systèmes organisationnellement complexes. La plupart des Systèmes d'Aide à la Décision nécessaires à la gestion des phénomènes de grandes dimensions avec des structures multi-niveaux et se déroulant sur de grandes échelles de temps, nécessitent, pour fournir des éléments prédictifs pertinents, de s'appuyer sur des modèles traitant effectivement la complexité organisationnelle.

Nous proposons d'engager des recherches sur la modélisation des systèmes complexes, au sens d'une investigation profonde et la plus large possible, en mettant en œuvre un ensemble cohérent et important de thèses avec applications thématiques, pour validation, dans différents domaines d'intérêts prioritaires. Ces recherches sont typiquement pluridisciplinaires, sinon transdisciplinaires, mais elles sont quand même fortement centrées sur la notion de modélisation, de conception de modèles adaptés aux phénomènes physiques et sociaux, de modèles prédictifs pouvant être validés et prenant en compte la complexité organisationnelle sans la réduire.

Il s'agit donc de rechercher à la fois de nouveaux modèles théoriques, en mathématiques et en informatique, et de les expérimenter et les valider systématiquement sur le terrain, sur des exemples significatifs, selon les protocoles de mesure des sciences expérimentales. Pour cela,

des équipes pluridisciplinaires (encadrants théoriciens et co-encadrants de soutien thématique) sont à mettre en place de manière privilégiée.

4 - Structure du maillage des laboratoires et partenariats

Il s'agit, à partir d'une sélection d'étudiants formés en France et dans les pays africains dans des cursus de second cycle de mathématiques appliquées et d'informatique (niveau master scientifique), de former des docteurs et des chercheurs de très haut niveau, dans le domaine de la modélisation des systèmes complexes, de la conception et du développement de Systèmes d'Aide à la Décision.

Le Laboratoire Virtuel fédérerait des laboratoires universitaires des pays africains partenaires, en symbiose avec le laboratoire GEODES de l'IRD et ceux de certaines Universités françaises (principalement l'UPMC Paris 6) et certains autres partenaires (l'INRIA par exemple).

Initialement, le Laboratoire Virtuel, dans sa partie africaine, comprendrait quatre pôles intégrateurs :

- un en Afrique du Nord,
- deux, en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale,
- un en Afrique du Sud.

Ces quatre pôles intégrateurs en Afrique auraient pour vocation d'attirer et de fédérer des laboratoires africains des sous-régions. Ils permettraient de fixer la structure du Laboratoire Virtuel sur les nœuds bien identifiés d'un réseau à trois niveaux :

- les nœuds métropolitains, constitués par les laboratoires français universitaires et de l'IRD,
- les nœuds principaux des quatre pays africains,
- les nœuds satellites, constitués par les pays africains à faible potentiel universitaire ou bien moins moteurs dans le projet.

Les laboratoires des nœuds principaux, avec l'aide de ceux des nœuds métropolitains, devraient donc attirer sur eux-mêmes les étudiants d'autres pays africains et, par cela, jouer un rôle attracteur important. Ce maillage serait à la fois générateur d'une future École doctorale et aussi, à terme, d'un réseau d'Écoles doctorales.

4.1- Laboratoires français actuellement concernés :

Tous les Laboratoires des différents Départements de l'IRD

Tous les Laboratoires de l'Université Pierre et Maris Curie Paris 6, de toutes ses Écoles Doctorales propres.

4.2- Laboratoires africains actuellement concernés :

Afrique du Nord

- Laboratoire de Mathématiques appliquées de l'Université de Marrakech, Maroc.

Afrique du Sud

- Laboratoire de Mathématiques du Département de Mathématiques et Mathématiques appliquées de l'Université du Cap, Afrique du Sud.

Afrique de l'Ouest

- Laboratoire en Mathématiques appliquées des Universités UCAD et Gaston Berger, Sénégal.

Afrique Centrale

- Laboratoire de Mathématique et d'Informatique des Universités de Yaoundé 1 et de Buéa, Cameroun.

5 - Fonctionnement du Laboratoire Virtuel

Le Laboratoire Virtuel serait organisé autour d'un enseignement doctoral spécifique commun qui serait dupliqué dans les pays d'accueil (France, Maroc, Sénégal, Cameroun, Afrique du Sud), comme fonctionne les cours doctoraux d'une École Doctorale.

Il aurait un Conseil de Direction, composé de chercheurs seniors, où chaque partie serait représentée selon son engagement et qui gérerait les procédures de recrutement, les modalités d'évaluation et les inscriptions en thèse.

Le recrutement dans le Laboratoire Virtuel se ferait à partir du niveau Mastère (DEA), spécialité Mathématiques Appliquées ou d'Informatique (et exceptionnellement mastère thématique).

Les thèses de doctorat financièrement soutenues par la France seraient toutes co-encadrées par des professeurs français de rang A habilités à diriger des recherches (Géodes ou Laboratoires d'Université).

Le conseil de direction du Laboratoire Virtuel devrait rendre compte semestriellement du déroulement des travaux de thèse, de la réussite des enseignements doctoraux et de la coordination des recherches menées dans les différentes équipes.

Les enseignements doctoraux seraient en fait des *séminaires* de niveau doctoral. Ces enseignements ne sont pas des cours sanctionnés par des examens, mais ils ont surtout pour vocation d'unifier la formation, qui est répartie sur une aire géographique très vaste, et de permettre la constitution d'une réelle communauté scientifique. Ces cours seraient systématiquement dispensés sous forme de visio-conférences interactives, en utilisant le protocole IP-multicast de Renater. Ils seraient répartis sur les deux premières années des thèses. Ils comprendraient de petits modules spécifiques trimestriels :

- on peut concevoir deux modules scientifiques principaux communs, relevant de la théorie et des outils de la modélisation mathématique des systèmes complexes, de l'approche calculable de ces systèmes (programmation par objets et agents). Ces modules communs impliqueraient un matériel pédagogique partagé, des échanges et une coordination très étroite entre les intervenants de chaque pays. Tous les professeurs intervenant dans la

formation devraient être spécialisés dans un module et intervenir dans les quatre pays. Il y aurait donc une bonne homogénéité des cours fondamentaux.

- on peut concevoir trois modules complémentaires de culture générale : épistémologie des modèles et des systèmes complexes, économie et langues.
- on peut également concevoir trois modules scientifiques spécifiques aux différents sites, en fonction des thématiques et des besoins des équipes locales. Ces modules pourraient être plus appliqués et tenir compte des formations locales. Ils seraient organisés et faits par les professeurs de chaque laboratoire partenaire du projet.
- des séminaires trimestriels (des journées doctorales) seraient organisés, pour présenter aux doctorants les activités des chercheurs des différents laboratoires.
- des *doctorales* (séminaires au niveau de l'Ecole) pourraient être organisées, regroupant sur une semaine tous les doctorants sur un site, et ce de manière à ce que ceux-ci présentent et valorisent leurs travaux de recherche.

Tous les enseignements dispensés le seraient de manière bilingue français - anglais.

6 - Programme (indicatif) de l'enseignement doctoral

L'enseignement, réparti sur les deux premières années doctorales, comprendrait cinq modules scientifiques, avec deux modules principaux sur la Science des Modèles et trois modules spécifiques organisés par les équipes de recherche des pays d'accueil selon leurs spécialités (soit trois modules originaux par site). Des enseignements complémentaires d'épistémologie, d'économie et de langue sont également à organiser.

Modules scientifiques principaux (indicatifs)

Module Modèles et Systèmes Complexes (22 heures, 2 intervenants français ou africains)

- Modèles et systèmes
- Modèles discrets
- Modèles différentiels, théorie du contrôle
- Modèles morphologiques, fractales
- Modèles non homogènes et intégration de modèles
- Analyse de données dynamiques et multi-niveaux
- Problèmes de validation

Module Méthodologie de la programmation par objet et agent (22 heures, 2 intervenants français ou africains)

- Le modèle calculable
- La représentation des connaissances
- Éléments de génie logiciel
- Programmation par objet
- Langages de programmation et applications
- Programmation distribuée
- Paradigme agent et méthodes d'agentification
- Plates formes multi-agents et applications
- Simulation discrète et validation
- Programmation génétique

Modules scientifiques spécifiques

Trois modules spécifiques dépendant des spécificités des laboratoires des pays d'accueil (3 fois 18 heures, assurés par des enseignants français ou africains).

Modules optionnels en France et au Sénégal

- Modélisation hydrodynamique des sols
- Modélisation épidémiologique et parasitologique
- Modélisation urbaine

Modules optionnels au Maroc et au Sénégal

- Modèles de dynamique des populations marines
- Modélisation urbaine

Modules optionnels en Afrique du Sud, au Cameroun et au Sénégal

- Modélisation individus-centrée en écologie
- Modélisation intégrée pour la gestion des systèmes écologiques
- Modélisation océanique

Modules complémentaires

Module Épistémologie de la Science des Modèles (12 heures, 2 intervenants français ou africains)

- Domaines d'application et modèles,
- Modèles, systèmes et mesures
- Méthodologie de la modélisation
- Histoire des concepts
- Transposition

Module d'Économie (12 heures)

Éléments de micro-économie

Éléments de macro-économie

Administration et Gestion des entreprises

Module de Langue (20 heures)

Cours de français et / ou d'anglais

7- Déroulement des thèses

Les jurys des thèses proviendraient pour partie des différents pays concernés par l'École Doctorale. Les diplômes de doctorat seraient systématiquement valides en France, c'est-à-dire qu'il s'agit de thèses double sceaux (ou de deux thèses si le système universitaire local ne permet pas le double sceaux).

8 - Proposition de calendrier

Le déroulement du projet pourrait être le suivant :

- Septembre 2002 à septembre 2003 : visite des laboratoires concernés, contacts politiques dans les Ambassades et les Ministères, montage politique et administratif de la Structure Doctorale, définition des projets scientifiques et techniques et coordination thématique de ces projets.
- Septembre 2003 : ouverture officielle de la formation doctorale, première étape de l'École doctorale, sous forme d'un **Laboratoire Virtuel Franco-Africain intitulé Modèles et Applications Thématiques**. Réunion d'ouverture à l'IRD, Paris.
- Octobre 2003 : recrutement effectif des doctorants (suite à des informations largement diffusées durant l'année 2003)
- Novembre 2003 à Mars 2004 : ouverture de la première année de la Structure Doctorale, début des cours de Science des Modèles dans les quatre pays et début du co-encadrement des thèses. Fonctionnement du réseau de laboratoires via le réseau Internet à qualité de services.
- Septembre 2004 : jury des examens de première année de doctorat et recrutement des futurs docteurs pour l'année suivante :
Développement de nouveaux projets de recherche.