

## Présentation des projets financés au titre de l'édition 2008 du Programme SYSCOMM

<b>ACRONYME et titre du projet</b>	<b>Page</b>
<b>APAM-</b> Acoustique et Paroi Multi-perforée	3-4
<b>BIMBO-</b> Construction d'un modèle d'Impact de Santé Publique des médicaments antihypertenseurs : du gène à la population	5-6
<b>CALAMAR-</b> Modélisation et analyse compositionnelles de grands réseaux de régulation, application au contrôle de la prolifération cellulaire chez l'homme	7-8
<b>COSTUME-</b> Structures cohérentes en milieux turbulents	9-10
<b>DALTPAC-</b> Dynamique et apprentissage de patrons d'activité dans le cervelet	11
<b>DMASC-</b> Propriétés d'Invariance d'Echelles de Signaux Cardiaques, Systèmes Dynamiques et Analyse Multifractale	12-13
<b>DYCOACT-</b> Dynamiques collectives de particules actives	14-15
<b>DYXI-</b> Dynamiques citadines collectives : hétérogénéités spatiales et individuelles	16-17
<b>WEBFLUENCE-</b> Dynamiques d'opinion dans des espaces publics numériques: topologie, morphogenèse et diffusion	18-19
<b>MANIPHYC-</b> Une approche concertée maths-numérique-physique pour développer une compréhension multi-échelles des écoulements de matériaux désordonnés.	20-21
<b>METACOLI-</b> Intégration de données et modélisation de la diversité métabolique de souches commensales et virulentes d' <i>Escherichia coli</i>	22-23
<b>MODECOL-</b> Utilisation de la modélisation pour améliorer les services écologiques associés aux systèmes prairiaux	24-25-26
<b>MODELACTIN-</b> Auto-organisation du cytosquelette d'actine et production de force par processus de sélection à l'échelle moléculaire: modèles, simulations et expériences.	27-28
<b>MSDAG-</b> Assimilation de données multi échelles en géophysique	29-30
<b>PEDIGREE-</b> Piétons: étude de l'émergence de comportements collectifs à travers l'expérience, la modélisation et la simulation	31-32

<b>VIROSCOPY-</b> Modélisation stochastique et inférence statistique pour la propagation des maladies infectieuses transmissibles: du microscopique au macroscopique	33-34
<b>TRAVESTI-</b> Estimation du volume de Trafic par Inférence Spatio-temporelle	35-36
<b>GENESHAPE-</b> Modélisation de la morphogénèse animale et végétale : du GENE à la FORME	37-38
<b>MANUREVA-</b> Modélisation mathématique et étude expérimentale des instabilités non linéaires, des vagues scélérates et des phénomènes extrêmes	39-40

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet **APAM- Acoustique et Paroi Multi-perforée**

### Résumé

Les chambres de combustion dans les moteurs d'avion ou d'hélicoptère sont refroidis par injection d'air à travers des petites et plus grandes perforations. Ceci crée un couplage qui peut modifier les modes et les fréquences de résonance acoustiques du système. L'interaction de la combustion et des fluctuations de pression acoustique peut provoquer de graves dysfonctionnements pouvant aller jusqu'à la destruction du moteur. Les codes, utilisés par l'industrie à l'heure actuelle pour prévenir de telles anomalies, négligent complètement les effets des perforations de petite taille car leur prise en compte par un maillage direct serait impraticable même dans le cadre d'un calcul haute performance. Le projet, qui regroupe deux 'fournisseurs', l'Institut Mathématique de Toulouse (IMT), et le CERFACS, ainsi qu'un expérimentateur, l'ONERA à Toulouse et un industriel, la SNECMA, a pour objectif de développer des modèles mathématiques et des schémas numériques qui surmonteraient la difficulté précédente et de les valider d'abord expérimentalement et ensuite dans le contexte industriel réel. La technique de base, qui sera utilisée pour l'écriture des modèles mathématiques, est la méthode des développements asymptotiques raccordés. Parmi les aspects les plus novateurs de cette approche, il est prévu d'abord d'abord le cas où les effets de l'écoulement sont négligés dans les perforations et ensuite, de tirer parti du cadre de la méthode des développements asymptotiques raccordés, pour prendre cet aspect en compte au niveau des petites échelles par un modèle approprié. La possibilité de faire des mesures jusqu'au niveau des petites échelles par l'ONERA sera aussi un des points forts du projet.

### Partenaires

INSA de Toulouse (partenaire coordinateur)  
CERFACS  
ONERA  
SNECMA

### Coordinateur

M. Abderrahmane Bendali– Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse  
abendali@insa-toulouse.fr

### Aide de l'ANR

400 000 euros

### Début et durée

Janvier 2009 - 36 mois

Référence ANR-08-SYSC-001

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**BIMBO-** Construction d'un modèle d'Impact de Santé Publique des médicaments antihypertenseurs : du gène à la population

## Résumé

Les médicaments antihypertenseurs réduisent efficacement le risque d'accidents cardiovasculaires, qui constituent une des causes majeures de handicap et de décès prématurés. Ces accidents sont essentiellement représentés par l'infarctus du myocarde, l'accident vasculaire cérébral et l'insuffisance cardiaque congestive. Ces médicaments sont parmi les plus prescrits dans les pays à hauts revenus : ils sont prescrits à près de 10 millions d'individus en France. Leur prescription suit un ensemble de règles simples mais divers, rassemblés dans des recommandations de 70 pages, qui sont difficiles à appliquer pour la majorité des médecins traitants. L'utilisation non-optimale de ces médicaments représente un gaspillage financier, et ce qui est plus difficilement acceptable, une perte de chances à l'échelle de la population.

Le projet BIMBO vise à synthétiser les connaissances pertinentes sur la physiopathologie de l'hypertension artérielle et sur les mécanismes d'action des médicaments antihypertenseurs, dans un modèle intégré prenant en compte les caractéristiques des individus susceptibles d'être traités (y compris leur bagage génétique), dans le but d'optimiser l'impact de ces médicaments à la fois pour les individus traités et à l'échelle de la santé publique.

Le projet BIMBO s'appuiera sur le rassemblement intégré de plusieurs sous-modèles : pharmacocinétique et pharmacodynamique des 5 principales classes de médicaments, la biologie de la paroi artérielle (mécanique, interactions cellulaires, rupture de la plaque d'athérosclérose), la régulation de la pression artérielle (rein et systèmes neuro-humoraux), l'observance aux médicaments, la survenue des accidents cardiovasculaires. Ces différents sous-modèles sont actuellement en chantier sous la responsabilité des différents partenaires du projet, qui représentent plusieurs disciplines parfaitement complémentaires : pharmacologie, physiologie, mathématiques, informatique. L'ajustement des sous-modèles, mais aussi des développements spécifiques, seront nécessaires pour rejoindre le cahier des charges conduisant à l'intégration des différents sous-modèles dans un modèle général. Le modèle général BIMBO sera conçu de façon à simuler chez un individu donné l'exposition aux médicaments qui nous intéressent, ainsi que les modifications

des sorties de chaque sous-modèle qui résulte de cette exposition, la modification ultime étant représentée par la survenue possible d'un accident cardiovasculaire. Une population Française virtuelle, présentant toutes les caractéristiques requises comme entrées des différents sous-modèles, sera alors utilisées comme support pour simuler l'impact de l'exposition aux médicaments à l'échelle de la population. Cette simulation estimera le nombre d'accidents cardiovasculaires prévenus pendant une période définie. Des algorithmes spécifiquement développés aideront à déterminer le(s) meilleur(s) scénario(s) de prescription, c'est à dire qui maximise le nombre d'accidents prévenus pour un coût prédéfini. La faisabilité du projet BIMBO est assurée par plusieurs points forts :

- 1) Les partenaires ont tous l'expérience de conduire, ou de participer à, des projets de modélisation multidisciplinaires,
- 2) Ils sont impliqués dans plusieurs projets auxquels BIMBO offre l'opportunité d'un but commun, réunissant tout à la fois une perspective forte d'application, a et une ambition potentielle majeure : le succès du projet BIMBO pourrait en effet avoir des conséquences pour plusieurs millions de Français,
- 3) le groupe de partenaires a accès à d'importantes bases de données d'essais cliniques et de génétique, qui serviront à plusieurs aspects : l'estimation des paramètres constitutifs des différents sous-modèles, incluant chaque fois que nécessaire la dispersion des valeurs moyennes du paramètre dans la population, la simulation d'individus virtuels réalistes présentant les caractéristiques nécessaires pour faire tourner les sous-modèles, la possibilité de confronter les sorties des sous-modèles à des jeux de données de validation.

**Partenaires**

INSERM (partenaire coordinateur)  
CNRS DR7 UMPA  
CNRS DR7 LBBE  
CNRS DR3 IBISC  
Université de Bretagne Occidentale

**Coordinateur**

M. François Gueyffier– Centre d'Investigation Clinique  
francois.gueyffier@chu-lyon.fr

**Aide de l'ANR**

451 036 euros

**Début et durée**

Janvier 2009 - 36 mois

**Référence**

ANR-08-SYSC-002

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

**Titre du projet** **CALAMAR-** Modélisation et analyse compositionnelles de grands réseaux de régulation, application au contrôle de la prolifération cellulaire chez l'homme

## Résumé

Un objectif fondamental de la biologie des systèmes est de révéler les liens entre les niveaux de description physiologiques et moléculaires, et ainsi de mettre en valeur les mécanismes sous-jacents à l'émergence des fonctions cellulaires. Le but ultime est de passer d'une biologie descriptive à une biologie réellement prédictive ou explicative. Ceci implique l'intégration des données de génomique fonctionnelle par des modèles cohérents et utilisables, sous la forme de réseaux complexes qui prennent en compte une variété d'interactions agissant à divers niveaux. Pour comprendre comment de tels réseaux régissent des processus cellulaires essentiels, nous avons besoin de développer des outils d'analyse et de modélisation dynamiques ad hoc. Dans ce contexte, le but de ce projet est de développer des moyens efficaces pour représenter et analyser de grands réseaux de régulation. Ces développements méthodologiques génériques seront systématiquement mis à l'épreuve sur une application référence, à savoir l'analyse d'une carte étendue du réseau de régulation RB/E2F, qui joue un rôle clé dans le contrôle de la prolifération de cellules humaines. Les données de génomique fonctionnelle et outils de fouille de texte seront utilisés pour compléter et adapter la carte générique pour les types cellulaires d'épithélium de vessie, normaux ou transformés, ainsi que pour les lymphocytes T. Notre principale démarche consistera à élaborer des méthodes efficaces pour la modélisation dynamique et l'analyse de systèmes complexes en combinant différentes stratégies. Les méthodes de réduction de modèles nous fourniront une représentation compacte du système, avec ainsi une analyse facilitée, tout en conservant les propriétés dynamiques essentielles. Pour un réseau biologique donné, de nombreuses modélisations peuvent être définies, à différents niveaux de description et avec différents formalismes mathématiques (équations discrètes, différentielles, stochastiques...). L'interprétation abstraite permettra d'établir des relations formelles entre ces différents modèles. De plus, nous voulons développer des stratégies de modélisation incrémentale basées sur les concepts de modularité et compositionnalité. Dans ce but, nous allons envisager différentes définitions de modules, et évaluer leur pertinence biologique et

dynamique. Ces stratégies seront couplées avec des techniques de vérification compositionnelle, pour étudier des propriétés dynamiques clés dans des modèles étendus. Du point de vue des applications biologiques, un aspect de ce projet porte sur l'intégration de données de génomique fonctionnelle pour compléter une description générique du réseau RB/E2F qui contrôle la prolifération de cellules humaines. Cette carte va de plus être adaptée pour des lignées de cellules d'épithélium de vessie et de lymphocytes T. Les différentes cartes obtenues serviront d'exemples de référence pour tester nos développements méthodologiques. Tous les outils et méthodes de modélisation et d'analyse seront systématiquement appliqués non seulement au réseau RB/E2F, mais également à des variantes (versions génériques ou spécifiques, considérant différentes mutations et autres perturbations cellulaires). Enfin, les différentes méthodes de simulation et d'analyse permettront de procéder à des prédictions à partir des modèles (i.e. le comportement du réseau RB/E2F dans de nouvelles conditions) et pour définir et réaliser un ensemble limité d'expériences conclusives.

**Partenaires** INSERM (partenaire coordinateur)  
INRIA Paris-Rocquencourt  
Institut Curie

**Coordinateur** Mme Claudine Chaouiya – INSERM  
chaouiya@tagc.univ-mrs.fr

**Aide de l'ANR** 400 178 euros

**Début et durée** Janvier 2009 - 36 mois

**Référence** ANR-08-SYSC-003



# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**COSTUME-** Structures cohérentes en milieux turbulents

## Résumé

Le projet a pour but l'étude de la formation spontanée de structures cohérentes à grande échelle dans un environnement turbulent. Ce problème se rencontre dans de nombreux domaines de la science non linéaire, comme l'astrophysique, la matière condensée, la physique des plasmas, l'hydrodynamique ou l'optique. Nous proposons d'étudier ce vaste problème en se focalisant sur trois sujets importants et représentatifs, l'optique non linéaire, l'élasticité et les super solides. Au-delà du développement théorique de ce projet (modèles, théorie et simulations numériques), nous réaliserons des expériences dans les domaines de l'optique non linéaire et l'élasticité. Le premier sujet est consacré à l'étude d'ondes non linéaires aléatoires dans le cadre de l'optique (tâche 1) et de l'élasticité i.e., vibrations d'une plaque élastique (tâche 2). L'outil mathématique sous-jacent est la théorie de turbulence faible. En analogie avec la théorie cinétique des gaz, cette théorie permet de décrire le régime d'interaction non linéaire faible, i.e., le régime où les ondes exhibent un haut degré de désordre (incohérence). Afin de décrire la formation de structures ordonnées à grande échelle (e.g. condensat) dans le système turbulent, nous fournirons une approche théorique originale en développant une théorie auto-consistante de turbulence faible. Dans cette approche la formation d'une structure cohérente apparaîtra comme rupture de la théorie de turbulence faible standard. L'optique non linéaire incohérente a fait l'objet d'un intérêt croissant ces dernières années, comme en témoignent de nombreux sujets d'actualité, e.g. les solitons incohérents, la génération de super continuum ('lasers blancs'), ou les lasers aléatoires. Sur la base de la théorie de turbulence faible, notre objectif est de développer une approche thermodynamique hors-équilibre de l'optique non linéaire statistique. Nous étudierons l'existence de nouveaux solitons incohérents qui n'exhibent pas de localisation dans le domaine spatiotemporel, mais exclusivement dans le domaine fréquentiel ('solitons spectraux'). Nous proposons aussi de fournir une première démonstration expérimentale du processus de thermalisation d'ondes non linéaires classiques, ainsi que des spectres de turbulence de Kolmogorov-Zakharov dans le domaine de l'optique. Nous soulignons que l'optique non linéaire offre des opportunités uniques pour l'étude de la thermalisation d'ondes, grâce à l'existence de milieux non

linéaires à faible pertes (fibres optiques), dans lesquels la propagation de la lumière est bien décrite par des équations conservatives sur de longues distances de propagation. La 2ème tâche est consacrée à l'élasticité: nous développerons une approche théorique originale des vibrations élastiques d'une plaque. Nous montrerons en particulier qu'une plaque élastique peut être décrite comme un gaz bidimensionnel de particules classiques qui interagissent via une section efficace non-triviale. Cette nouvelle approche de l'élasticité non linéaire ouvre la porte à de nombreuses perspectives. La formation spontanée d'un condensat dans ce système sera étudiée théoriquement et expérimentalement, ainsi que le rôle des défauts topologiques dans les propriétés statistiques hors-équilibre des vibrations élastiques. Le second sujet concerne l'étude de l'état super solide de la matière dans le cadre d'un modèle de champ moyen de superfluides avec rotons (tache 3). Nous étudierons de nombreuses propriétés phénoménologiques des super solides, comme la réponse du super solide sous l'action d'une faible rotation ('rotation d'inertie non classique') ou sous un faible étirement, ainsi que les excitations de faible énergie par un modèle à deux fluides. Le mécanisme responsable de la formation du cristal cohérent (i.e., état super solide) sera analysé dans le cadre de la théorie de turbulence faible auto-consistante développée dans la tâche 1.

**Partenaires** CNRS DR2 LPS (partenaire coordinateur)  
CNRS DR2 IJLRA  
CNRS DR6 ICB  
USTL Lille

**Coordinateur** M. Sergio Rica – Laboratoire de Physique Statistique  
rica@lps.ens.fr

**Aide de l'ANR** 287 755 euros

**Début et durée** Janvier 2009 - 24 mois

**Référence** ANR-08-SYSC-004

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

<b>Titre du projet</b>	<b>DALTPAC-</b> Dynamique et apprentissage de patrons d'activité dans le cervelet
<b>Résumé</b>	<p>Bien que des théories puissantes de l'apprentissage aient vu le jour ces cinquante dernières, leur application en neurosciences est restée assez marginale. Une des raisons principales de cette limitation est l'absence de prise en compte d'une dynamique et donc l'impossibilité de décrire des associations entre suites temporelles de potentiel d'action. Nous nous proposons d'étendre à des associations entrée-sortie de suites temporelles de potentiel d'action les analyses de capacité de stockage et d'adapter à ce cas les règles d'apprentissage optimal. Cette analyse sera menée pour une topologie de réseau similaire à l'architecture « feedforward » du cervelet, responsable des associations entrées-sorties en charge de la coordination des mouvements. En parallèle, nous effectuerons des enregistrements à l'aide de tétrodes chez le rat éveillé pour caractériser la dynamique des réseaux cérébelleux au cours du mouvement. Des expériences supplémentaires seront conduites in vitro pour analyser comment des règles de plasticité synaptique peuvent prendre en compte l'information contenue dans une suite de potentiel d'action et aussi pour tester les modèles développés de dynamique de réseaux. Nos données préliminaires suggèrent l'existence d'oscillations dans le cortex cérébelleux. L'analyse de cette dynamique constituera donc un point important du projet. Nous nous attendons à ce que notre collaboration multidisciplinaire fasse avancer la compréhension des modalités de l'apprentissage moteur dans le cervelet et plus généralement qu'elle conduise à des théories de l'apprentissage biologiquement plus réalistes.</p>
<b>Partenaires</b>	CNRS DR1 LNP (partenaire coordinateur) ENS CNRS DR2 LPS
<b>Coordinateur</b>	M. Nicolas Brunel – Equipe Brunel, Laboratoire de Neurophysique et Physiologie, CNRS UMR 8119 nicolas.brunel@univ-paris5.fr
<b>Aide de l'ANR</b>	515 778 euros
<b>Début et durée</b>	Janvier 2009 - 36 mois
<b>Référence</b>	ANR-08-SYSC-005

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**DMASC-** Propriétés d'Invariance d'Echelles de Signaux Cardiaques, Systèmes Dynamiques et Analyse Multi fractale

## Résumé

Des études numériques basées sur des concepts de physique statistique, de théorie des grandes déviations et de l'analyse des fonctions, ont mis en évidence de remarquables propriétés d'invariance d'échelles pour de longues séries temporelles d'intervalles R-R mesurés chez l'être humain. Ces signaux, extraits des électrocardiogrammes, représentent les intervalles de temps entre battements consécutifs. Les propriétés d'invariance d'échelles mesurées sur ces signaux rappellent les propriétés (caractérisées par la géométrie fractale) de certaines mesures ou fonctions auto-similaires en loi, appelées multi fractales.

Les études numériques mentionnées précédemment révèlent aussi que l'invariance d'échelles peut prendre des formes diverses, selon que les patients sont en bonne santé ou souffrent de maladies cardiaques. Ces observations suggèrent qu'une meilleure compréhension des propriétés multi fractales des signaux cardiaques permette de développer de nouveaux outils de surveillance et de diagnostique. Cependant, jusqu'ici aucune explication satisfaisante de l'origine physiologique de ces propriétés, ni même de modèle mathématique pertinent des signaux eux-mêmes n'ont été donnés. Afin de mesurer le potentiel de l'analyse multi fractale pour les applications médicales, il est donc fondamental d'aller plus loin que les travaux précités et de se livrer à une étude approfondie des propriétés d'invariance d'échelles des signaux cardiaques. Cela nécessite la mise au point de nouveaux algorithmes robustes de traitement des signaux multi fractals, en particulier, il semble tout à fait approprié d'associer à l'approche statistique utilisée habituellement une étude géométrique de l'invariance d'échelles. De plus, il est nécessaire d'appliquer ces outils à un grand nombre de données provenant de pathologies très diverses. Cela doit permettre de constituer une classification des différentes formes d'invariances d'échelles rencontrées et de les relier à des propriétés physiologiques.

Cette démarche doit également contribuer au développement d'un nouveau modèle mathématique multi fractal suffisamment flexible pour que ses paramètres soient ajustables en fonction de la pathologie rencontrée. Il est également très important de se livrer au même travail pour le signal de pression artérielle qui

est tout aussi fondamental que l'intervalle R-R dans l'étude du système cardio-vasculaire, et au delà, de faire l'analyse et la modélisation du couple (intervalle R-R, pression artérielle). Ce projet se propose de réaliser un tel programme. Il propose également de contribuer à comprendre l'origine des propriétés d'invariance d'échelles observées en développant un modèle simplifié de l'activité électromécanique du cœur qui produise en sortie des signaux R-R dont les propriétés multi fractales correspondent aux modèles des signaux réels. Un modèle 1-D de fibre cardiaque serait déjà très satisfaisant. Le problème précédent est étroitement lié à la question difficile de comprendre les liens entre phénomènes multi fractals et EDP, question à laquelle le projet se consacrera donc naturellement. L'équipe du projet se compose de six membres appartenant à quatre partenaires : deux spécialistes d'analyse multi fractale, un spécialiste de la modélisation du système cardio-vasculaire et du contrôle d'EDP, un spécialiste du traitement statistique des signaux, et deux physiologistes (dont un cardiologue) spécialistes du traitement des signaux cardiaques. Le projet bénéficiera d'une large banque de données de signaux R-R long terme (24h) déjà enregistrés dans les domaines du diabète, de l'acromégalie, et de l'apnée du sommeil , une banque de données prospective sera établie dans le domaine de la réanimation médicale, pour des patients présentant des pathologies cardio-vasculaires comme l'insuffisance cardiaque et l'hypertension artérielle, ou en état de choc.

**Partenaires** INRIA Paris-Rocquencourt (partenaire coordinateur)  
Université Paris-Sud

**Coordinateur** M. Julien Barral – INRIA Paris - Rocquencourt / EPI SISYPHE  
julien.barral@inria.fr

**Aide de l'ANR** 145 048 euros

**Début et durée** Janvier 2009 - 36 mois

**Référence** ANR-08-SYSC-006

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**DYCOACT-** Dynamiques collectives de particules actives

## Résumé

Ce projet concerne l'étude du mouvement collectif de particules auto-propulsées. Il s'agit d'un sujet essentiellement pluridisciplinaire, transverse à de nombreux domaines scientifiques tels que la physique, la biologie, la zoologie ou la robotique. L'apparition de mouvement collectif représente un des exemples les plus marquants d'émergence car il ne repose le plus souvent sur aucun facteur évident comme l'existence d'un leader, or d'un champ extérieur privilégiant une direction. Il apparaît à toutes les échelles depuis l'organisation intracellulaire de filaments et de moteurs moléculaires jusqu'aux plus grands groupes de mammifères, et dans les êtres vivants autant que dans des assemblées d'objets inertes produits par l'homme. Il trouve aussi des applications technologiques potentielles dans le contrôle de procédés micro ou nanoscopiques. Nous proposons d'étudier la dynamique collective de grandes assemblées de particules artificielles animées de mouvement. Etant donné que la production de milliers de petites particules réellement auto-propulsées reste difficile, nous allons plutôt utiliser de simples particules anisotropes de taille millimétrique, qui peuvent être plus facilement fabriquées. En plaçant ces particules dans un conteneur quasi-bidimensionnel vibré verticalement, les collisions avec le conteneur conduisent à un mouvement individuel persistant des particules, et les collisions entre les particules tendent à aligner leur vitesse de par l'inélasticité des collisions. Un tel montage expérimental peut être considéré comme un des plus simples pour étudier le mouvement collectif, car les particules peuvent être suivies assez facilement, et les fluctuations thermiques ainsi que l'interaction avec le fluide environnant sont négligeables. Cette expérience, la première étude expérimentale à grande échelle d'un milieu granulaire actif, implique cependant un certain nombre de difficultés, car il est crucial notamment que le conteneur soit extrêmement plat, et que son horizontalité soit précisément contrôlée. Le suivi des particules est effectué avec une caméra rapide à haute résolution, couplée à un logiciel très performant. A partir du grand nombre de trajectoires collectées, nous allons calculer différentes quantités intéressantes pour comparer théories et simulations. Nous nous concentrerons plus particulièrement sur la caractérisation de la transition vers le mouvement collectif, sur la nature de la phase ordonnée (taille et forme des amas, densité et fluctuations de vitesse), et sur l'influence des

propriétés des particules (nématiques/isotropes, polaires/apolaires). Au niveau théorique, nous utiliserons à la fois des approches numériques et analytiques pour faire des progrès significatifs dans la compréhension des profonds problèmes physiques en jeu. En utilisant des modèles décrivant individuellement les particules, nous étudierons le cas expérimentalement pertinent de particules polaires avec des interactions nématiques, et nous comparerons les résultats avec ceux obtenus jusqu'à présent dans des modèles de type « Vicsek », qui ont été étudiés de manière approfondie dans la littérature. En termes de description continue, nous identifierons précisément les excitations non linéaires pertinentes qui sont solutions des équations hydrodynamiques, et nous caractériserons leur dynamique. En outre, nous tenterons d'obtenir une description mésoscopique en termes d'équations aux dérivées partielles stochastiques, dans lesquelles des termes de bruit multiplicatif sont attendus, un cas notoirement difficile analytiquement et numériquement. En résumé, notre objectif principal est de profiter de l'expertise complémentaire des équipes de recherche impliquées dans le projet, et de renforcer les collaborations existantes entre les participants. Nous prévoyons de mener des expériences sur un système modèle bien contrôlé et de les confronter avec différents résultats théoriques fondamentaux, en allant au-delà des résultats existants afin de motiver de nouvelles études. En particulier, nous effectuerons des études expérimentales et numériques ainsi que des calculs théoriques pour répondre aux questions suivantes : à quoi ressemble la phase ordonnée en termes de densité, de morphologie et de mouvement des amas ? Quelles sont les propriétés des fluctuations et quels sont leurs modes d'excitation ? Y a-t-il des couplages spécifiques entre modes de densité et de vitesse ? Quels sont les rôles respectifs de la polarité et de l'anisotropie ? Quelle est la robustesse des modèles et quelle est la généralité des observations ?

**Partenaires** CEA (partenaire coordinateur)  
CNRS DR2

**Coordinateur** M. Olivier Dauchot – Service de Physique de l'Etat Condensé,  
CEA Saclay  
olivier.dauchot@cea.fr

**Aide de l'ANR** 215 049 euros

**Début et durée** Janvier 2009 - 36 mois

**Référence** ANR-08-SYSC-007



# Programme SYSCOMM

Edition 2008

**Titre du projet** **DYXI - Dynamiques citadines collectives : hétérogénéités spatiales et individuelles**

## Résumé

Ce projet de recherche fondamentale, mené par une équipe interdisciplinaire, utilise des techniques de modélisation de systèmes complexes dans l'étude des interactions sociales et spatiales en contexte urbain: il s'agit de repérer, expliquer, anticiper des patterns (statiques ou dynamiques) macroscopiques qui émergent lorsque le comportement de chaque individu est non seulement dépendant de facteurs idiosyncratiques, mais aussi influencé par « les autres ». Si l'objectif principal de ce travail est d'expliquer les phénomènes sociaux qui influent sur les dynamiques de ségrégation urbaine, trois objets majeurs sont étudiés, à savoir les prix du logement, la carte scolaire et la délinquance, tous trois pris comme mesures de l'inégalité sociale et spatiale. Les modèles seront construits à partir de l'analyse de données empiriques, et feront appel à des techniques de la physique statistique des systèmes désordonnés, à de la dynamique des populations, et à l'approche multi-agents. Concernant le thème de la « ségrégation urbaine et logement », l'objectif est d'expliquer l'influence de la ségrégation sociale sur la formation des prix des logements urbains, en prenant en compte l'hétérogénéité des individus et la dynamique de leurs interactions. Nous intégrerons dans des modèles inspirés de la physique statistique non seulement les écarts de revenus des populations mais aussi la dynamique des prix des logements. Nous ferons l'hypothèse que le prix d'un logement est lié à ses caractéristiques propres, mais aussi à ce que nous pourrions appeler ses caractéristiques de voisinage et qui peuvent évoluer. Par la prise en compte explicite de ces effets, nous expliquerons les mécanismes d'évolution d'un quartier, et mettrons en évidence sous quelles conditions émergeront des équilibres mixtes (mixité sociale), ou des équilibres séparateurs (lieux distincts de « gentrification » et de paupérisation). En ce qui concerne le thème de la ségrégation scolaire, l'originalité de notre proposition réside dans l'appréhension du contexte dans lequel se trouve et l'élève et l'établissement, et ce à plusieurs échelles. L'ambition est ici de rendre compte des effets de rétroaction entre les comportements des élèves et la dynamique du contexte dans lequel il va à l'école. Il s'agira de modéliser les pratiques de placement scolaire des familles à l'aide d'un système multi-agents, en s'appuyant sur les données et l'expertise des sociologues et géographes. Le modèle permettra de tester, à l'aide de simulations, l'effet de la disparition de la



carte scolaire sur l'hétérogénéité sociale et scolaire. Les objectifs majeurs sont de mieux comprendre les logiques à l'œuvre dans le choix scolaire, en prenant en compte les différentes hétérogénéités, d'évaluer les inégalités sociales et spatiales d'accès à l'instruction et leurs dynamiques, puis de prévoir les grandes tendances de la division sociale de l'espace scolaire francilien. En ce qui concerne le thème « incivilités et criminalité », nous apporterons un effort de modélisation à un domaine qui manque de travaux en la matière. Un premier travail concernera l'élaboration d'une base de données originale. Nous modéliserons ensuite le crime en termes économiques avec une application directe à la criminalité des jeunes en milieu urbain. On considèrera enfin les aspects théoriques de la criminalité comme la possibilité d'une approche en terme épidémiologique avec analyse de la dynamique et la caractérisation des fluctuations du taux de criminalité. Il s'agira d'identifier et rendre compte de patterns temporels et/ou spatiaux, en travaillant d'une part sur des données empiriques concernant la Ville de Paris, d'autre part sur des données permettant de comparer les évolutions de la criminalité dans différents pays occidentaux.

**Partenaires**

CNRS DR1 (partenaire coordinateur)  
CNRS DR2  
Télécom Bretagne  
CNRS DR1 GEMAS

**Coordinateur**

M. Jean-Pierre Nadal– Ecole des Hautes Etudes en Sciences  
Sociales  
jpnadal@msh-paris.fr

**Aide de l'ANR**

400 000 euros

**Début et durée**

Janvier 2009 - 36 mois

**Référence**

ANR-08-SYSC-008

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

<b>Titre du projet</b>	<b>WEBFLUENCE-</b> Dynamiques d'opinion dans des espaces publics numériques: topologie, morphogenèse et diffusion
<b>Résumé</b>	<p>Les réseaux de savoirs du web 2.0 constituent un gisement de données d'une précision et d'une quantité sans précédent concernant une multitude de communautés sociales, considérées comme des systèmes complexes socio-sémantiques. La blogosphère, en tant qu'espace public numérique, est notamment un des systèmes les plus riches en interactions observables et permet d'adopter un point de vue systémique, formel et quantitatif au sujet de problèmes posés en sciences sociales, tout en fournissant un support à des questions absolument contemporaines au sein de la théorie et de l'étude des systèmes complexes -- phénomènes de morphogenèse et processus de diffusion, interactions multi-échelles, multi-niveaux et multi-réseaux.</p> <p>L'objectif de LinkFluence vise ainsi à étudier, modéliser et reconstruire la dynamique de deux espaces singuliers et signifiants en tant que réseaux sociaux du web francophone: le web d'opinion et le web des loisirs créatifs. L'entreprise de modélisation du système complexe socio-sémantique sous-jacent sera menée en lien avec des problématiques concrètes de sciences sociales liées à ces nouveaux espaces. Il s'agira notamment d'étudier leur porosité aux flux d'informations produits par les professionnels de l'information en ligne que sont les médias traditionnels et les nouveaux médias, mais aussi leur capacité à 'inoculer' ces mass-médias de leur propre agenda. En outre, nous aurons pour objectif de définir des métriques opérationnelles de l'audience et de la diffusion des informations dans l'espace publique numérique qui seront mise en œuvre de façon concrète, sous formes d'indicateurs et de visualisations, tout au long du projet sur le site public du projet. Celui-ci sera conçu comme un 'Living Lab' destiné à confronter directement les résultats de recherches à l'évaluation des acteurs concernés.</p>
<b>Partenaires</b>	CNRS-CREA (partenaire coordinateur) France Télécom Université Pierre et Marie Curie RTGI
<b>Coordinateur</b>	M. Camille Roth – Centre de Recherche en Épistémologie Appliquée / CNRS

**Aide de l'ANR** camille.roth@polytechnique.edu  
449 950 euros

**Début et durée** Janvier 2009 - 24 mois

**Référence** ANR-08-SYSC-009

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**MANIPHYC-** Une approche concertée maths-numérique-physique pour développer une compréhension multi-échelles des écoulements de matériaux désordonnés.

## Résumé

Ce projet rassemble un consortium multidisciplinaire, impliquant des champs mathématiques, physiques et numérique, visant à la compréhension des propriétés d'écoulement des milieux désordonnés. Ce programme a pour but l'étude de la dynamique dans ces systèmes sur l'ensemble des échelles caractérisant l'écoulement, depuis les échelles macroscopiques, jusqu'aux échelles associées aux particules individuelles, avec un effort spécifique sur la compréhension des liens existant entre ces différentes échelles. Le projet propose ainsi une perspective fondamentalement nouvelle sur ces questions, à la fois du point de vue modélisation et développements mathématiques, mais également du point de vue des approches expérimentales spécifiquement mises en œuvre pour valider les hypothèses et prédictions des modèles. Les milieux désordonnés considérés dans ce projet sont courant dans la vie quotidienne, et dans différentes industries: on peut citer par exemple les mousses, émulsions, mayonnaise, crèmes diverses, systèmes en grains, etc. Le comportement 'mixte', de ces matériaux, entre solide et liquide, les rend particulièrement intéressants pour les applications, mais difficiles à décrire du point de vue fondamental: au repos, ils se comportent comme des solides élastiques, mais ils peuvent s'écouler comme des liquides si on leur applique une contrainte extérieure suffisante. Cette propriété de 'seuil', d'écoulement est relativement classique et documentée dans la littérature de rhéologie, cependant, le lien avec la dynamique à l'échelle microscopique reste une question largement ouverte. L'existence d'un seuil est en effet une signature d'un comportement non-ergodique, et la mécanique statistique classique des milieux faiblement hors équilibre ne peut s'appliquer. De plus, le 'gel', de la dynamique structurale des matériaux désordonnés, ainsi que le nombre d'échelle à prendre en compte dans leur dynamique, rend les simulations de ces matériaux très difficiles à réaliser à l'échelle des particules individuelles et extrêmement coûteuses en temps de calculs. Cela interdit en particulier toute utilisation d'approches computationnelles pour l'étude de ces matériaux dans des géométries et à des échelles intéressantes pour les situations industrielles. Il y a donc un besoin de développer une phénoménologie adaptée, qui soit capable de décrire

l'écoulement de ces matériaux, et qui repose sur une description pertinente de la dynamique aux différentes échelles. Dans ce projet, notre but est de proposer une modélisation multi-échelle pour l'écoulement de ce type de matériaux désordonnés, qui soit pertinente pour toute géométrie ou confinement. Nous proposons ainsi une description phénoménologique basée sur des concepts de physique statistique qui décrit les effets non-locaux existant dans ces matériaux, ainsi qu'une hiérarchie de modèles cinétiques décrivant la dynamique spatio-temporelle depuis les micro- jusqu'aux macro-échelles. Ces modélisations et les hypothèses sous-jacentes seront validés par une approche expérimentale nouvelle, reposant sur les outils micro fluidiques et des techniques optiques les plus récentes, ainsi que par des approches numériques explicites (dynamique moléculaire et simulations de type level-set).

**Partenaires** UCBL (partenaire coordinateur)  
INRIA Bordeaux-Sud Ouest  
Université de Savoie  
CNRS DR15

**Coordinateur** M. Lyderic Bocquet– Université Claude Bernard - Laboratoire de Physique de la Matière Condensée et Nanostructure  
lyderic.bocquet@univ-lyon1.fr

**Aide de l'ANR** 498 863 euros

**Début et durée** Janvier 2009 - 36 mois

**Référence** ANR-08-SYSC-010

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**METACOLI -** Intégration de données et modélisation de la diversité métabolique de souches commensales et virulentes d'*Escherichia coli*

## Résumé

L'objectif à long terme du projet MetaColi est une meilleure compréhension de l'adaptation du métabolisme de différentes souches d'*E. coli* à des milieux de vie contrastés, et l'identification des marqueurs métaboliques associés. Pour décrire de façon quantitative la diversité métabolique, il est nécessaire d'intégrer de très nombreuses données expérimentales souvent hétérogènes dans des modèles de fonctionnement cellulaire. Ces modèles devraient pouvoir prédire la croissance bactérienne et la capacité de survie sachant les conditions environnementales. Nous cherchons ici à modéliser la variabilité intra-espèce. Nous utiliserons 5 souches d'*E. coli* qui seront observées dans 4 conditions de croissance, représentatives des conditions de vie de ces souches en milieu naturel. L'ensemble constituera un « jeu d'entraînement » pour démontrer la validité de nos choix de modélisation. Afin de prendre en compte à la fois la variation qualitative (présence/absence de gènes) et quantitative (variations de concentrations enzymatiques et des flux), nous envisageons une approche modulaire, avec deux niveaux de modélisation. A l'échelle du génome, la reconstruction et l'analyse du réseau métabolique (COBRA) nous permettront d'étudier les propriétés structurales des réseaux et l'impact des variations du contenu en gènes sur les états métaboliques atteignables. Nous développerons un cadre Bayésien (COBB) de façon à intégrer rigoureusement des connaissances a priori à la fois qualitatives et quantitatives, et à mieux prendre en compte les incertitudes de mesure et de modélisation. L'analyse des flux au travers des voies métaboliques (FLAME) s'appuiera sur l'utilisation de modèles dynamiques du métabolisme central carboné. Nous explorerons les possibilités de simplification de ces modèles. Nous étudierons les propriétés biochimiques du sous réseau, correspondant à une partie du métabolisme carboné, pour modéliser les relations entre les variations de concentrations enzymatiques et les flux. La connexion entre les deux approches se fera en propageant des variations locales de flux à travers l'ensemble du réseau métabolique grâce aux modèles COBRA ou COBB, de façon à répercuter les variations de flux au sein de métabolisme central sur un caractère plus intégré, et

observable, comme la croissance cellulaire. L'expertise biologique permettra de valider les approches de modélisation. Nous utiliserons des données expérimentales existantes sur la diversité génétique et métabolique des 5 souches. Le projet servira à définir la nature des données supplémentaires nécessaires pour améliorer les modèles. Néanmoins, la production d'un nombre limité de données expérimentales (protéomique et métabolomique quantitatives) est prévue. A la fin du projet, la plupart des données expérimentales devraient pouvoir être intégrées dans les modèles. Nous développerons un cadre de modélisation statistique dédié à l'analyse des données intégrées dans les réseaux métaboliques. L'objectif de ces analyses sera l'identification de régions particulières du réseau se comportant différemment selon les souches et/ou les conditions de culture, permettant de formuler d'hypothèses fonctionnelles. MetaColi est une association entre une équipe experte dans le domaine du métabolisme (partenaire Bichat), une équipe spécialisée en bioinformatique (partenaire Genoscope), et une équipe experte dans l'analyse de la variabilité génétique quantitative (partenaire Moulon). Il s'agit là d'une excellente configuration pour atteindre les objectifs fixés.

**Partenaires**

INRA (partenaire coordinateur)  
INSERM  
CEA Genoscope

**Coordinateur**

Mme Christine Dillmann – UMR de Génétique Végétale -  
INRA/Univ Paris-Sud/CNRS/AgroParisTech  
dillmann@moulon.inra.fr

**Aide de l'ANR**

365 569 euros

**Début et durée**

Janvier 2009 - 36 mois

**Référence**

ANR-08-SYSC-011

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**MODECOL-** Utilisation de la modélisation pour améliorer les services écologiques associés aux systèmes prairiaux

## Résumé

Ce projet s'intègre dans un contexte où la mise en place de solutions rapides devient urgente pour compenser la dégradation de l'environnement occasionnée par l'homme. Un intérêt accru est observé pour les systèmes naturels dont on démontre désormais de manière flagrante les services écologiques associés tant au niveau de la dépollution des eaux et des sols que dans la régulation du réchauffement climatique. Les nouvelles réglementations environnementales incitent désormais à la création de nouveaux systèmes de ce type pour renforcer leur effet bénéfique sur l'environnement. Il s'agit cependant d'optimiser le design de ces nouveaux systèmes pour fournir le meilleur service écologique rendu. Le projet MODECOL vise à établir un modèle hybride réaliste permettant de modéliser un système herbacé (=prairie) par Individual Based-Model (IBM) relié par des boucles de rétroaction à une couche environnementale modélisée par Equations à Dérivées Partielles (EDP). Cette démarche vise à constituer par la suite un laboratoire virtuel suffisamment réaliste pour tester des hypothèses écologiques au niveau de systèmes écologiques complexes. La première étape de travail consistera à réaliser un modèle IBM pour représenter le système prairial considéré comme l'interaction de populations végétales. Un des aspects novateurs de ce projet est i. de prendre en compte la particularité de toute plante pérenne de croître par reproduction végétative: c'est-à-dire qu'un individu de plante simplifié le plus souvent par un point, est en réalité un réseau de tiges connectées entre elles par des structures permettant le transfert de ressources nutritives ou d'information de stress. La prise en compte de cette colonisation de l'espace par le développement de réseaux est particulièrement originale. Les règles d'interaction entre plantes feront appel à des aspects de théories des jeux. Enfin, l'établissement de la structure du modèle et sa validation seront étroitement liés à des expérimentations réalisées en conditions contrôlées et sur le terrain. Des techniques d'analyses d'image seront utilisées pour détecter les différents réseaux de plante entrelacés. La deuxième étape du projet visera à coupler ce modèle IBM à un système d'EDP qui prendra en compte les variations spatio-temporelles de l'environnement (par ex une concentration en pesticides, en nitrate&hellip,ect.). Ce point met en jeu plusieurs réflexions



liées i. à la notion de couplage de modèles d'échelles de temps et d'espace différentes et ii. des aspects liés au rôle de l'échelle de perception de l'individu sur le déterminisme de sa croissance qui peuvent s'apparenter à l'écologie comportementale. La validation de ce modèle sera réalisée par des suivis in situ au niveau du site de Pleine-fougères intégré au réseau international Long Term Ecological Research sites (LTER). La troisième étape du projet cherchera à établir un modèle agrégé ayant pour but de servir de support à l'aide à la décision pour les gestionnaires. Basés dans un premier temps sur un système dynamique, un système d'EDP calibré par les données issues de l'IBM sera réalisé. Une validation croisée avec les données issues de l'expérimentation sera également effectuée. La quatrième étape visera à appliquer ce dernier modèle à une application concrète liée aux dernières directives agrienvironnementales de la PAC. L'une des mesures phares de cette directive est la mise en place de bandes enherbées en bords de champs cultivés pour contribuer à l'épuration de l'eau. Nous utiliserons donc cet outil pour préciser le design optimal des bandes enherbées permettant de fournir ce service écologique. Ce travail sera réalisé en collaboration avec un comité de pilotage constitué de représentants de la chambre d'agriculture, d'agriculteurs et de chercheurs. Cette démarche participative permettra une bonne adéquation de ce travail avec la réalité agricole. Les trois premières tâches bénéficieront i. des outils d'écologie numérique permettant la confrontation des données issues des simulations et des expérimentations. Ils viseront à identifier les patrons de distribution des individus, les corrélations entre ces patrons et les variations de l'environnement, la prise en compte de la notion d'échelles, ii. des avancées récentes en calcul scientifique permettant la réalisation de simulations à large échelle pour des coûts modestes en temps et en équipement. Nous utiliserons une approche originale de calcul distribué sur ordinateur par l'utilisation de la plateforme BOINC. Ce projet présente ainsi une démarche entrant pleinement dans le cadre de l'appel d'offre SYSCOM, originale par de nombreux aspects mettant en jeu une collaboration étroite entre écologues et modélisateurs et donnant lieu à une application concrète en prise directe avec les gestionnaires. Ce projet propose également un modèle hybride assez flexible qui pourra être appliqué après modifications mineures à de nombreuses problématiques agronomiques et environnementales liées à des systèmes herbacés.

#### Partenaires

CNRS DR17 (partenaire coordinateur)  
INRIA Sophia Antipolis Méditerranée  
Université de la Rochelle

#### Coordinateur

Mme Cendrine Mony – CNRS  
cendrine.mony@univ-rennes1.fr

#### Aide de l'ANR

320 097 euros

#### Début et durée

Janvier 2009 - 36 mois

Référence ANR-08-SYSC-012

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

**Titre du projet** **MODELACTIN-** Auto-organisation du cytosquelette d'actine et production de force par processus de sélection à l'échelle moléculaire: modèles, simulations et expériences.

## Résumé

L'actine, une protéine très commune et extrêmement conservée dans l'évolution, forme les filaments impliqués dans la motilité de toutes les cellules eucaryotes. En coopération avec plus de soixante partenaires, l'actine contrôle l'organisation du cytosquelette, un réseau de structures filamenteuses qui orchestrent la déformation cellulaire en produisant et transmettant des forces, servent d'autoroutes aux moteurs moléculaires pour permettre aux cellules de se contracter activement et compartimenter l'intérieur des cellules en limitant ou inhibant le mouvement des organites. Le paradoxe est : comment de telles machineries moléculaires bien conservées peuvent se combiner en circuits de régulation conférant robustesse, souplesse et adaptation aux cellules ou aux tissus. De plus, non seulement la cartographie de ces circuits de régulation est importante, mais encore les propriétés physiques du cytosquelette qui se construit progressivement, à la suite de la nucléation de nouveaux filaments et de leur élongation. Les contraintes mécaniques sont exercées par un cytosquelette en croissance et qui rétro-contrôle les réactions chimiques des circuits de régulation. Un tel mécanisme est crucial dans l'émergence d'une réponse cellulaire globale adaptée aux conditions extérieures qui peuvent changer.

Le projet modelactin consiste à analyser la dynamique du cytosquelette d'actine à partir de modèles mathématiques et de physique théorique contraint par des expériences in vitro. Le but de ce projet est de comprendre l'organisation générale de la dynamique cellulaire en réponse à des stimuli ou des stress imprévisibles. De plus, cette étude est particulièrement importante dans le contexte de pathologies associées aux dysfonctionnements cellulaires, puisque les mutations des gènes des partenaires de l'actine ont été associées à des maladies graves, comme les myopathes, des cancers ou des maladies neurodégénératives. Nous voulons examiner les quatre points suivants.

(1) Comment les structures fondées sur l'actine peuvent donner lieu à des fonctionnements très différents dans une cellule ?

(2) Comment ces mécanismes moléculaires extrêmement bien conservés donnent suffisamment de souplesse et de robustesse aux cellules pour faire face à un monde incertain ?

(3) Comment la génération de forces à l'échelle du micromètre (mésoscopique) est coordonnée par les réactions chimiques et les propriétés physiques des filaments à l'échelle nanométrique ?  
(4) Est-ce que les outils théoriques développés pour le système actine vont constituer un paradigme pour aborder la complexité biologique, qui requiert de nouvelles analyses mathématiques ou de nouveaux outils de simulation ?

**Partenaires**

Institut Curie (partenaire coordinateur)  
CNRS DR11 TIMC-IMAG  
Institut Curie  
CNRS DR11

**Coordinateur**

M. Jean-François Joanny – Physicochimie Curie  
jean-francois.joanny@curie.fr

**Aide de l'ANR**

400 000 euros

**Début et durée**

Janvier 2009 - 36 mois

**Référence**

ANR-08-SYSC-013

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**MSDAG-** Assimilation de données multi échelles en géophysique

## Résumé

L'assimilation des observations en géophysique vise à combiner de manière optimale d'impressionnantes bases de données d'observations, de l'information a priori sur l'état du système physique, et un modèle numérique complexe, dans le but de mieux analyser ou dans le but de prédire l'état futur du système physique. Le sujet est difficile car il requiert de maîtriser des notions de (géo-)physique, de statistiques, de mathématiques appliquées, d'optimisation, d'analyse numérique et de calcul intensif. En dépit de 15 ans de progrès continu dans le domaine, plusieurs questions difficiles n'ont pas trouvé de réponse. Une question fondamentale est celle de la représentation de l'espace de contrôle (l'ensemble des variables permettant de contrôler le système, et qui entrent directement dans la formulation mathématique de l'assimilation), et son lien avec la façon dont les observations sont fusionnées dans le système d'assimilation de données. Plus spécifiquement, la question pourrait être de choisir la résolution du maillage de l'espace de contrôle de façon optimale. Le problème est loin d'être simple. En effet, tout algorithme traitant du problème est conduit à intégrer plusieurs versions du même système à plusieurs échelles. En outre, la physique (et la manière dont elle est modélisée) est très souvent dépendante de l'échelle. Les statistiques qui sont partie intégrante du système d'assimilation sont également dépendantes de l'échelle. Des problèmes très similaires sont rencontrés en assimilation d'images, où l'information de nature observationnelles doit être transférée de manière cohérente à un modèle numérique doté de son propre maillage (et avant que ne soit assimilée cette information dans le système physique). Pour aborder ces questions, les contenus en information d'objets de différente nature (état a priori du système, observations, modèles) devront être quantifiés et comparés, dans un environnement multiéchelles.

Ce projet a pour but de traiter ces questions de manière quantitative. Les partenaires du projet partageront leur expérience antérieure respective sur le sujet. Ils construiront ensuite conjointement des extensions ou de nouveaux outils algorithmiques ou numériques. Plusieurs techniques mathématiques, d'origines diverses, pourront servir de bibliothèque commune de méthodes: ondelettes et constructions associées, techniques multi-grilles, outils numériques et boîte à

outils pour le calcul multiéchelles, analyse variationnelle et théorie du contrôle optimal, et outils de la physique statistique comme la théorie statistique des champs. Les partenaires appliqueront ensuite leurs résultats méthodologiques dans leur champ d'expertise respectif (plusieurs partenaires partagent une partie de leurs applications, de sorte que les interactions ne se limiteront pas aux développements méthodologiques): océanographie, dynamique des fluides, chimie atmosphérique et climat.

Nous escomptons un impact méthodologique significatif sur l'assimilation de données en géophysique, ainsi que la démonstration de l'utilité des approches multi-échelles en géophysique.

**Partenaires**

ENPC (partenaire coordinateur)  
INRIA Grenoble Rhône Alpes  
INRIA Rennes Bretagne Atlantique  
CNRS DR4

**Coordinateur**

M. Marc Bocquet – Ecole Nationale des Ponts et Chaussées /  
CEREA (Centre d'Enseignement et de Recherche en  
Environnement Atmosphérique)  
bocquet@cerea.enpc.fr

**Aide de l'ANR**

479 974 euros

**Début et durée**

Janvier 2009 - 36 mois

**Référence**

ANR-08-SYSC-014

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**PEDIGREE-** Piétons: étude de l'émergence de comportements collectifs à travers l'expérience, la modélisation et la simulation

## Résumé

Les foules humaines sont le siège de structures spatio-temporelles coordonnées (organisation en files, oscillations de flux au travers de portes, etc.). Le présent projet a pour but une meilleure compréhension de ces structures à travers un usage dialectique de l'expérimentation et de la modélisation. Au-delà de ces perspectives fondamentales, le projet s'intéressera également à des questions applicatives, pertinentes pour la gestion des flux de piétons pour la conception et la sécurité architecturale ou urbaine, et pour les applications en infographie. La compréhension de l'émergence de structures au sein des flux de piétons requiert une connaissance plus approfondie des lois qui gouvernent le comportement des individus et leurs interactions, laquelle ne peut être acquise qu'à travers des expériences systématiques et soigneusement contrôlées. En effet, l'ensemble des données déjà disponibles est trop lacunaire et trop hétérogène pour un tel objectif. Les techniques de capture de mouvement permettent des expériences plus complexes avec un enregistrement exhaustif des positions des individus. L'extraction d'information à partir des données peut être aidée par la modélisation mathématique et la simulation numérique qui permet d'extraire les observables pertinentes par lesquelles un ensemble d'hypothèses biologiques peuvent être testées. Les modèles et les données peuvent aussi être efficacement couplés à travers des techniques d'assimilation de données. Il résulte de cet usage dialectique de l'expérience et de la simulation l'extraction d'un ensemble de règles décrivant le comportement des individus, règles qui peuvent être introduites dans un modèle multi-agents dit 'Individu centré' tel que ceux utilisés en réalité virtuelle et en infographie.

Pour des foules importantes, les modèles continus de type mécanique des fluides deviennent attractifs, tant sur le plan calculatoire que théorique. Leur dérivation à partir des comportements individuels au moyen de méthodes de physique statistique et de théorie asymptotique garantit leur pertinence biologique et permet une étude et une compréhension qualitative des phénomènes émergents observés dans les foules. Pour les applications en infographie et en conception architecturale, un accès ouvert à une base de données de mesures expérimentales ainsi qu'à des modèles numériques soigneusement validés peut s'avérer extrêmement utile, en ce

qu'il permet le développement de simulations numériques hiérarchiques efficaces ainsi qu'à des stratégies de contrôle en temps réel de flux de piétons dans les lieux publics.

Le projet a pour but de développer les différents points du programme détaillé ci-dessus. Des expériences de capture de mouvement seront effectuées. Un modèle macroscopique phénoménologique sera tout d'abord développé afin d'aider à la recherche des caractéristiques principales du mouvement des piétons. Ensuite, l'analyse des données conduira à un modèle de comportement individuel. Ce modèle sera inséré dans un modèle de simulation Individu-Centré et couplé aux données en utilisant des techniques d'assimilation de données. Simultanément, le modèle macroscopique sera raffiné en utilisant le modèle Individu-Centré au moyen d'un passage systématique de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique. Cette étape exploitera les méthodologies disponibles issues de la théorie asymptotique mathématique et de la physique statistique. Une plate-forme en libre accès sera constituée. Elle contiendra à la fois une base de données de résultats expérimentaux et les codes sources des modèles microscopiques Individu-Centré et macroscopiques.

**Partenaires**

Université Paul Sabatier (partenaire coordinateur)  
CNRS DR14 CRCA  
CNRS DR4 LPT  
INRIA Rennes Bretagne Atlantique

**Coordinateur**

M. Pierre Degond– Institut de Mathématiques de Toulouse (UMR 5219), Université Paul Sabatier, Toulouse  
pierre.degond@math.univ-toulouse.fr

**Aide de l'ANR**

399 343 euros

**Début et durée**

Janvier 2009 - 36 mois

**Référence**

ANR-08-SYSC-015



# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**VIROSCOPY-** Modélisation stochastique et inférence statistique pour la propagation des maladies infectieuses transmissibles: du microscopique au macroscopique

## Résumé

Le projet 'Viroscopy' vise essentiellement à développer de nouveaux modèles stochastiques pour la propagation des maladies infectieuses transmissibles, ainsi que des méthodes statistiques adéquates, dans le but de fournir aux épidémiologistes des outils efficaces de diagnostic/prédiction. A l'ère de la collecte automatique massive de données, de nombreuses informations relatives à la propagation de certaines infections sont systématiquement relevées et stockées dans des bases de données, sans nécessairement savoir comment les exploiter pour décrire/comprendre/prévoir l'épidémie sous-jacente. Les énormes progrès réalisés dans la collecte de données épidémiologiques encouragent les mathématiciens appliqués et les épidémiologistes à développer de nouveaux modèles incorporant ces informations afin de mieux rendre compte des situations observées. Bien que de nombreuses variantes du modèle SIR standard aient été proposées dans la littérature biostatistique ces dernières années, la question de l'analyse des données épidémiologiques dans toute leur complexité reste encore largement ouverte. Les avancées récentes dans les domaines des Probabilités Appliquées et des Statistiques suggèrent que de nouveaux outils d'analyse et de calcul, fondés sur des méthodes de simulation intensives interprétables en termes de systèmes de particules en interaction par exemple, pourraient être mises en œuvre sur les données épidémiologiques, dans le but de fournir des estimations utiles aux épidémiologistes et aux experts du domaine de la Santé Publique. L'élaboration de méthodes mathématiques pour l'analyse des données épidémiologiques et la résolution de problèmes inhérents à la modélisation des dynamiques de propagation sont précisément le sujet de ce projet de recherche fondamentale pluridisciplinaire. Au delà des résultats de portée générale (garantissant un cadre de validité pour les modèles considérés et les procédures numériques mises en œuvre), les membres du projet 'Viroscopy' sont décidés à se confronter aux données.

## Partenaires

Télécom Paris Tech (partenaire coordinateur)  
INRIA Bordeaux Sud-Ouest

Université des Sciences et Techniques de Lille  
Université Paris Descartes

**Coordinateur** M. Stéphan Clémenton– Télécom Paris Tech  
clemenco@telecom-paristech.fr

**Aide de l'ANR** 301 745 euros

**Début et durée** Janvier 2009 - 36 mois

**Référence** ANR-08-SYSC-016

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet **TRAVESTI- Estimation du volume de Trafic par Inférence Spatio-temporelle**

### Résumé

Ce projet a pour objet la modélisation de systèmes complexes de grande échelle à des fins de prédiction du comportement macroscopique global. Pour fixer le cadre applicatif, nous considérons le problème particulier de la prédiction des conditions de trafic en temps réel sur un réseau routier. Le trafic automobile constitue un système complexe générique, où émergent des phénomènes auto-organisés de congestion mettant en jeu des interactions à grande distance sur le réseau. Il s'agit pour nous d'analyser les formes spatiales associées à la congestion qui apparaissent sur des données artificielles produites par le simulateur de trafic METROPOLIS, et d'élaborer des méthodes de prédictions basées sur des modèles de physique statistique et des algorithmes de passage de messages. Nous envisageons d'étudier deux types de conditions de trafic:

- des conditions réalistes, basées soit sur des données synthétiques produites numériquement, soit sur des données historiques récoltées par des capteurs fixes ou mobiles en environnement réel.

- des conditions de trafic futuristes dans la perspective de la « route automatisée ». De façon classique pour les systèmes complexes, le problème est d'extraire à partir de règles d'interactions locales une représentation macroscopique du système. Par définition d'un système complexe, les phénomènes macroscopiques qui émergent ne peuvent pas être déduits directement des comportements individuels microscopiques, et la compréhension de son comportement global réside dans l'identification des variables et structures macroscopiques pertinentes. Dans l'application visée, nous considérons deux points de vue complémentaires:

- dans le premier, développé dans METROPOLIS, les agents individuels sont des utilisateurs du réseau, chacun essayant de minimiser une fonction d'utilité, typiquement des coûts généralisés de transport. La compétition pour des ressources limitées (la capacité maximale du réseau routier) est à l'origine de l'interaction entre agents. En conséquence des formes spatiales de congestion émergent et le problème inverse posé est celui de trouver un jeu de paramètres permettant de produire des situations de trafic réalistes.

- Dans le second, les entités élémentaires sont les sections routières, considérées en des instants discrets successifs, et il

s'agit de tirer parti des corrélations statistiques entre les états de ces sections. L'idée est de produire une description macroscopique du réseau afin d'être capable d'effectuer des prédictions de trafic. Notre proposition adopte cette seconde conception pour développer une nouvelle approche de la prédiction de trafic sur des réseaux de grande taille et avec des contraintes de temps réel. METROPOLIS sera l'outil de base pour la mise au point de cette approche en servant à la fois de fournisseur de donnée réelles et en produisant à loisir des conditions artificielles de trafic.

Les outils que nous seront amenés à utiliser sont :

- des outils théoriques alliant les probabilités et la physique statistique
- des outils algorithmiques d'optimisation continue et des algorithmes de passage de messages,
- des outils statistiques pour l'analyse de données et la reconnaissance de formes.

**Partenaires**

INRIA Saclay Ile de France (partenaire coordinateur)  
CNRS DR7  
INRIA Paris Rocquencourt  
ARMINES

**Coordinateur**

M. Cyril Furtlehner – Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique - centre de recherche Saclay - Île-de-France / Equipe-Projet TAO  
furtlehn@lri.fr

**Aide de l'ANR**

400 000 euros

**Début et durée**

Janvier 2009 - 36 mois

**Référence**

ANR-08-SYSC-017

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**GENESHAPE-** Modélisation de la morphogénèse animale et végétale : du GENE à la FORME

## Résumé

Les organismes biologiques sont des exemples typiques de systèmes complexes où des molécules interagissent pour former des cellules qui interagissent à leur tour pour former des tissus et des organes ayant des formes et des fonctions spécifiques. Comment une régulation à l'échelle cellulaire se traduit en formes complexes multicellulaires est une question à laquelle on n'a aucune réponse, dans aucun organisme, et qui reste un problème central en biologie du développement. Jusqu'à présent, les biologistes se sont penchés sur la question en étudiant le rôle de gènes ou de molécules individuels. Bien que ce type d'approche se soit révélé extrêmement productif, la quantité actuelle de données disponibles ne permet plus d'avoir une vue intégrée. C'est pourquoi les approches des systèmes complexes qui visent à expliquer et prédire le comportement des systèmes biologiques par une analyse quantitative et de modélisation, sont devenues absolument nécessaires. Dans ce projet, nous proposons de développer de telles approches pour étudier le développement d'organismes multicellulaires. Ceci est un enjeu majeur qui implique une recherche multidisciplinaire à la fois dans le domaine des mathématiques, de l'informatique et de la biologie du développement. Notre objectif est de développer des méthodes et des concepts qui pourraient s'appliquer à un large panel d'objets biologiques. C'est pourquoi nous avons choisi deux modèles biologiques différents. Le premier est l'embryon d'une ascidie, *Ciona intestinalis* et le deuxième est l'organe reproducteur femelle de la plante à fleur *Arabidopsis thaliana*. Ces deux systèmes sont a priori très différents. Cependant, ils montrent aussi des ressemblances morphologiques frappantes. Le développement de ces deux systèmes implique le contrôle spatial de la croissance cellulaire et de la prolifération, ainsi que, à une échelle supérieure, la croissance des organes, l'invagination et le repliement des tissus. D'un point de vue très fondamental, il est très intéressant d'étudier comment, deux organismes distants, ont résolu des problèmes différents (différentes contraintes mécaniques, nombre de cellules différents, durée du processus différent) pour finalement arriver à des morphologies similaires. Afin de comprendre le développement de ces deux organismes, nous proposons de :

- collecter et acquérir de nouvelles données quantitatives au niveau moléculaire, cellulaire et multicellulaire

- organiser ces données dans une base de données
- intégrer ces données dans un modèle spatialisé dynamique ou modèle descriptif
- développer des modèles théoriques dynamiques sous la forme d'organismes virtuels afin d'exprimer des hypothèses
- vérifier la valeur prédictive de ces modèles en comparant les résultats avec les données réelles et par l'expérimentation

**Partenaires**

CNRS DR7 (partenaire coordinateur)  
CNRS DR12 IBDML  
CNRS DR7 LIP IXXI  
INRIA Sophia Antipolis Méditerranée

**Coordinateur**

Mme Françoise Monéger – CNRS  
francoise.moneger@ens-lyon.fr

**Aide de l'ANR**

500 000 euros

**Début et durée**

Janvier 2009 - 48 mois

**Référence**

ANR-08-SYSC-018

# Programme SYSCOMM

Edition 2008

## Titre du projet

**MANUREVA-** Modélisation mathématique et étude expérimentale des instabilités non linéaires, des vagues scélérates et des phénomènes extrêmes

## Résumé

Le but de ce projet est de mener des études mathématiques, numériques et expérimentales sur les phénomènes d'ondes extrêmes en optique et en hydrodynamique. Un élément central du projet repose sur des résultats récents en physique publiés dans Nature en 2007. Ces résultats montrent qu'un système optique peut générer des événements d'ondes extrêmes de très grande amplitude possédant des propriétés semblables aux tristement célèbres vagues scélérates observées à la surface des océans. Ceci ouvre la possibilité d'utiliser un système optique pour étudier directement à la fois la dynamique et les statistiques des processus à valeurs extrêmes. Cette possibilité représente une avancée considérable, comparable à celle de l'introduction des systèmes optiques pour l'étude du chaos dans les années 1970. Ici notre objectif principal est d'exploiter ces résultats récents pour progresser dans notre compréhension de l'analyse théorique, de la modélisation numérique et de la description prédictive des phénomènes à valeurs extrêmes dans des systèmes optiques ou hydrodynamiques. Le projet permettra le développement de nouvelles méthodologies et de méthodes mathématiques et/ou de modélisation originales, qui associeront des idées issues de mathématiques appliquées, physique statistique et thermodynamique. Les études théoriques inclueront une application de la théorie de turbulence d'ondes et de la théorie cinétique à l'analyse de la dynamique des ondes hydrodynamiques et optiques dans le but de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à l'émergence de structures cohérentes de grande échelle à partir d'un environnement turbulent. Le travail numérique inclura l'étude de techniques telles que l'échantillonnage préférentiel et les approches Monte-Carlo multicanoniques afin d'améliorer l'efficacité et la robustesse de la simulation d'événements extrêmes. Des techniques d'analyse de données reposant sur la théorie statistique des valeurs extrêmes seront également développées et un travail supplémentaire sera mené pour développer des méthodologies de déduction de modèles prédictifs à partir de données numériques et expérimentales. Le travail numérique et théorique sera validé de façon expérimentale à travers l'étude des effets de type valeurs extrêmes dans la propagation d'ondes dans les fibres optiques. Cependant on attend également un impact significatif dans l'étude des vagues scélérates. Les

méthodologies qui seront développées devraient être hautement génériques et par conséquent applicables à l'étude d'une grande variété de processus à valeurs extrêmes dans d'autres systèmes.

**Partenaires** ENS Cachan (partenaire coordinateur)  
Université Paris 7  
CNRS DR6 ICB  
CNRS DR6 FEMTO

**Coordinateur** M. Frédéric Dias – Centre de Mathématiques et de Leurs Applications ENS Cachan  
dias@cmla.ens-cachan.fr

**Aide de l'ANR** 300 026 euros

**Début et durée** Janvier 2009 - 36 mois

**Référence** ANR-08-SYSC-019