

Présentation des projets financés au titre de l'édition 2009 du
 Programme SYSCOMM

ACRONYME et titre du projet	Page
ADAGE - Modèles adjoints d'écoulement de la glace pour l'assimilation de données en glaciologie	3-4
BALWM - Balance d'excitation et d'inhibition et plasticité synaptique a court terme : un nouveau paradigme pour la mémoire de travail	5-6
DISCO - Modélisation multi-échelles du COuplage bioDIversité Structure dans les biofilms	7-8
FLASH - Prévion des crues par apprentissage statistique, assimilation de données et modélisation semi-physique	9-10
GEOFLUIDS - Analyse et simulation d'écoulements fluides à partir de séquences d'images : application à l'étude d'écoulements géophysiques	11
MEPHYSTAR - MEcanique et PHYsique STATistique de la Rupture dans les matériaux fragiles hétérogènes	12-13
MEPSOM - Modélisation multiéchelle et propriétés émergentes de la dégradation microbienne des matières organiques dans les sols	14-15
MODYPE - Modélisation de la dynamique pelvienne	16-17
ODESSA - Ordinary Differential Equations and State-space models for regulatory and Signalling pAthways identification	18-19
ROLSES - Localisations robustes et optimales pour des systèmes et un environnement durables	20-21
SICOGIF - Simulation, contrôle et optimisation d'écoulements induits par des géométries	22-23
SIMISOL - Simulation Multiéchelles des Ions aux interfaces Solide-Liquide	14-25
SIMPA - Simulations de parenté : modélisation de la dynamique matrimoniale et mnémonique dans les réseaux de parenté	26-27

STATOCEAN - Mécanique statistique hors équilibre des grandes échelles océaniques : application à la bistabilité du Kuroshio (courant sur la côte est du Japon) et à l'anticyclone de Zapiola (anticyclone océanique au large de l'Argentine)	28-29
TRAM - Transport anormal en milieu poreux	30-31

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet

ADAGE - Modèles adjoints d'écoulement de la glace pour l'assimilation de données en glaciologie

Résumé

Les glaciers et les calottes polaires, en perdant ou gagnant de la masse, jouent un rôle majeur sur le niveau des mers. Ce fut clairement le cas lorsqu'à la fin du dernier maximum glaciaire, les calottes Fennoscandiennes et Laurentide se sont désintégrées, contribuant à une augmentation de 120 m du niveau des mers. Les pronostics quant au futur sont eux particulièrement inquiétant. En effet, de nombreuses observations indiquent clairement que les vitesses d'écoulement de l'Antarctique et du Groenland ont été profondément modifiées au cours des 10 dernières années, indiquant que de grands et peut-être irréversibles changements ont été initiés. Cet aspect a clairement été mis en avant dans le dernier rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2007). Le GIEC a insisté sur le manque de connaissances concernant les processus moteurs de l'accélération observée des glaciers émissaires et de conclure qu'aucune projection fiable de niveau des mers ne peut être faite pour le XXI^e siècle. L'objectif principal de ce projet est de développer des méthodes d'assimilation de données pour les modèles d'écoulement de la glace, afin de fournir des estimations précises et fiables de la contribution des calottes polaires sur le niveau des mers. Du fait des dimensions des calottes polaires, les modèles d'écoulement sont fondés sur des approximations des équations de Stokes, basées sur des développements asymptotiques, et ceci afin de prédire l'évolution de l'ensemble de la calotte. Par ailleurs, l'évacuation des flux de glace à la mer est fortement hétérogène puisque, en Antarctique, 15% de la ligne de côte évacue 90% du volume de glace. Ces processus à petites échelles, qui sont responsables de l'augmentation actuelle de la perte de masse des calottes, ne peuvent pas être capturés par les modèles grandes échelles. Par conséquent, des modèles d'écoulement local sont actuellement en développement pour répondre à cette problématique. Le LGGE a développé une expertise sur les modèles directs qu'ils soient à l'échelle locale ou à l'échelle de l'ensemble de la calotte. Les conclusions du GIEC montrent clairement qu'une meilleure estimation de la contribution des calottes polaires au niveau des mers passe par la confrontation de ces deux échelles. Pour cette raison, le projet proposé couple les deux approches: (i) modèle grande échelle et mesures satellitaires et (ii) modèle local et données associées à un glacier émissaire particulier. Cette démarche permettra une meilleure estimation de la

contribution des calottes polaires au niveau marin par la prise en compte des processus locaux qui gouvernent la réponse globale des calottes polaires. L'objectif du projet sera atteint en développant les codes adjoints des modèles directs d'écoulement global et local. Cette approche permettra de réaliser des expériences d'analyse de sensibilité et d'estimer l'importance relative des différents paramètres d'entrée des modèles sur la contribution au niveau des mers, puis de contraindre des paramètres d'entrée mal connus grâce à l'assimilation de données. Le développement de ces modèles adjoints est, en lui seul, un challenge scientifique qui pourra être mené à bien grâce à l'expertise reconnue dans ce domaine des équipes MOISE, de l'INRIA, et MIP de l'institut de Mathématiques de Toulouse (IMT). Cette nouvelle approche est clairement motivée par la quantité de données aujourd'hui disponibles aux deux échelles, locale et globale. Ces dernières décennies, les observations satellitaires ont clairement permis d'améliorer notre connaissance de la dynamique des calottes polaires. L'expertise du LEGOS dans ce domaine contribuera au succès du projet. Les mesures effectuées à la surface du glacier de l'Astrolabe (Terre Adélie, Antarctique) durant le projet ANR DACOTA constitueront une base de données idéale pour le modèle local d'écoulement. Les collaborations proposées dans ce projet rassemblent des expertises sur les méthodes mathématiques d'assimilation de données, sur la modélisation des écoulements de glace et sur l'acquisition de données de qualité, afin de promulguer efficacement les méthodes d'assimilation de données dans la communauté glaciologique.

Partenaires

Université Joseph Fournier – Grenoble 1 (partenaire coordinateur)
Université Paul Sabatier
INRIA Grenoble Rhône-Alpes
CNRS Délégation Midi Pyrénées

Coordinateur

M. Olivier Gagliardini – Université Joseph Fournier – Grenoble 1
gagliar@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

Aide de l'ANR

500 002 euros

Début et durée

Décembre 2009 - 48 mois

Référence

ANR-09-SYSC-001

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet **BALWM – Balance d'excitation et d'inhibition et plasticité synaptique a court terme : un nouveau paradigme pour la mémoire de travail**

Résumé

Le fonctionnement des réseaux de neurones, artificiels ou d'inspiration biologiques utilise souvent les nonlinéarités de la dynamique neuronale. Tel est le cas des perceptrons possédant des couches cachées, du mécanisme d'excitation récurrente expliquant la sélectivité à l'orientation dans le cortex visuel, ou du tempotron, un réseau d'inspiration biologique, capable d'apprendre des patrons temporels. Les décharges de potentiels d'action des neurones corticaux in-vivo sont extrêmement irrégulières. Cela est non trivial au vu du grand nombre d'entrées qu'un neurone cortical reçoit de son environnement. Un mécanisme remarquablement universel a été proposé pour cette stochasticité (van Vreeswijk & Sompolinsky, 1996,1998). Il est fondé sur l'équilibre entre entrées excitatrices et inhibitrices, un régime dynamique émergent génériquement quand les neurones d'un réseau interagissent fortement avec une connectivité aléatoire. Dans ces régimes 'équilibrés' la moyenne temporelle du courant synaptique total est beaucoup plus petite que les fluctuations. Ce sont ces dernières qui induisent l'activité du réseau. Cependant, le niveau d'activité moyen du réseau est essentiellement déterminé par la condition d'équilibre entre l'inhibition et l'excitation. Il en résulte que les propriétés non-linéaires des neurones ne jouent que peu de rôle dans les états 'équilibrés'. Certes remarquable, cette propriété implique une incompatibilité fondamentale entre 'capacités computationnelles' et fonctionnement dans des régimes 'équilibrés', sauf si des nonlinéarités autres que neuronales sont également présentes. Ce problème apparaît lorsqu'il s'agit d'expliquer l'activité persistante observée dans le cortex préfrontal, le corrélat neuronal d'une fonction cognitive très étudiée ces dernières années: la mémoire de travail. De fait, aucun des modèles proposés pour expliquer l'activité persistante, ne rend compte de l'augmentation de la stochasticité des décharges neuronales dans les états persistants. Ils ne rendent compte pas non plus de la grande diversité des patrons d'activités observée dans les enregistrements électrophysiologiques chez le singe exécutant une tâche de mémoire de travail. Cela n'est pas surprenant: ces modèles nécessitent des nonlinéarités neuronales. Ce projet interdisciplinaire introduit un changement de perspective en proposant que les nonlinéarités les plus essentielles pour l'émergence d'activité persistante sont celles dues à la plasticité synaptique à court terme observée dans le cortex. Elles sont donc

d'origine synaptique et non neuronales. Nous étudierons cette hypothèse dans le cadre d'un modèle d'un réseau local du cortex dorsolatéral préfrontal, une région impliquée dans les mémoires de travail spatiales. Il consistera en un réseau de neurones 'intègre et décharge' interagissant par des synapses ayant une dynamique de plasticité à court terme. Celle-ci sera décrite par un modèle mathématique nouveau prenant en compte la stochasticité de la transmission synaptique. De nouvelles techniques analytiques devront être développées afin d'étudier les dynamiques microscopiques et macroscopiques de ce réseau. On déterminera ses régimes dynamiques en s'intéressant plus particulièrement aux régimes 'équilibrés' multistables et sélectifs qui pourraient rendre compte de l'activité persistante sélective observée dans le cortex dorsolatéral préfrontal. Nous étudierons également ce modèle par simulations numériques. Cela nous permettra de caractériser les propriétés temporelles, la diversité des patrons d'activités des neurones, et leur robustesse, pendant les différentes phases d'une tâche de mémoire de travail simulée selon différents protocoles. Les résultats seront comparés à des données expérimentales. Nous nous attacherons également à proposer une série de prédictions permettant de valider plus avant notre hypothèse. Celles-ci seront testées par des expériences électrophysiologiques chez des singes éveillés par les deux équipes d'électrophysiologistes de la collaboration (Kyoto, Bordeaux). Pour cela, l'équipe de Bordeaux devra développer un nouveau setup dédié à ces expériences.

Partenaires

CNRS Délégation Paris A (partenaire coordinateur)
CNRS Délégation Paris A
CNRS DR15
Kyoto University

Coordinateur

M. David Hansel – CNRS Délégation Paris A
david.hansel@univ-paris5.fr

Aide de l'ANR

500 090 euros

Début et durée

Novembre 2009 - 48 mois

Référence

ANR-09-SYSC-002

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet

DISCO - Modélisation multi-échelles du COuplage bioDiversité Structure dans les biofilms

Résumé

Les biofilms se rencontrent dans de nombreux écosystèmes naturels et comportent le plus souvent des milliards de micro-organismes, relevant de centaines voir de milliers d'espèces bactériennes différentes. Sous certaines conditions, ces bactéries produisent une matrice adhérente dont la structure spatiale, qui évolue dans le temps et selon leur environnement, est complexe. Les biofilms sont notamment utilisés dans les traitements modernes des eaux usées, car ils facilitent leur mise en oeuvre et améliore l'efficacité de l'activité purificatrice des bactéries. La richesse de la diversité bactérienne, interagissant avec la structure spatio-temporelle du biofilm, est responsable des fonctions biologiques, des propriétés physiques et du rôle protecteur des biofilms. Les effets combinés de ces dynamiques sont encore fort mal comprises. Un axe récent de recherche développe des modèles individus-centrés, où les individus bactéries sont explicitement représentés avec leurs interactions biologiques et physiques. Cependant, ces modèles ne prennent en général en compte qu'un petit nombre d'espèces, et les puissances actuelles de calcul ne permettent des simulations que pour des douzaines de milliers d'individus au plus. Il existe en écologie des modèles de la biodiversité étudiant de nombreuses espèces pour de grands nombres d'individus, mais les structures spatiales considérés sont le plus souvent très simples. Notre objectif dans ce projet est de mieux comprendre les liens entre structure spatiale et biodiversité dans les biofilms, et comment ces liens à la fois agissent et dépendent des grandeurs macroscopiques généralement accessibles à la mesure dans les procédés réels de dépollution. Un des partenaires (INRA LBE) étudie de tels procédés et a accès à plusieurs types de données sur le biofilm: - observations microscopiques de la structure géométrique locale, - données issues de la biologie moléculaire (images instantanées de la diversité des communautés microbiennes, sans information sur la spatialisation), - mesures de propriétés macroscopiques des biofilms et acquisition en ligne de grandeurs macroscopiques (concentrations, dégagements gazeux,...). Les principales difficultés pour identifier un modèle individus-centré proviennent de l'impossibilité matérielle de suivre chaque individu dans un biofilm réel et de la double complexité 'espace-biodiversité'. La méthodologie que nous proposons de mettre en place s'appuie sur 1. la transformation des modèles individus-centrés en modèles effectifs plus simples à des

échelles plus grandes, à l'aide de techniques mathématiques d'homogénéisation et de leur mise en oeuvre numérique, 2. des allers-retours entre expériences spécifiques donnant accès à des propriétés macroscopiques du biofilm et analyse mathématique des modèles réduits. L'objectif final sera de fournir des outils de compréhension et d'aide à la décision pour améliorer et piloter les biofilms industriels, notamment dans leur phase de démarrage. Sur le plan méthodologique, le projet offrira une étude exemplaire de l'articulation de modèles très différents, allant de modèles individus centrée jusqu'à des modèles hydrodynamiques macroscopiques, pour comprendre la dynamique multi-échelles d'un systèmes biologique. L'élaboration d'estimateurs en temps réel et de lois de commande à l'échelle macroscopique réclame en effet des modèles simples mais fidèles. Le projet rassemble des spécialistes de modèles individus-centrés et de leur réduction (Cemagref LISC), d'analyse mathématique de modèles écosystémiques (INRIA-INRA MERE), de techniques de modélisation multi-échelles (LPTMC), d'ingénierie du traitement des eaux et de mesures de biodiversité par empreintes moléculaires (INRA LBE) et d'imagerie des structures microscopiques des biofilms (Cemagref HBAN). Mots clefs: écologie microbienne, biofilm, biodiversité, traitement des eaux, écologie numérique, réduction de modèles.

Partenaires

INRIA Sophia Antipolis Méditerranée (partenaire coordinateur)
INRA
CNRS
Cemagref

Coordinateur

M. Alain Rapaport – INRIA Sophia Antipolis Méditerranée
rapaport@supagro.inra.fr

Aide de l'ANR

499 954 euros

Début et durée

Novembre 2009 - 36 mois

Référence

ANR-09-SYSC-003

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet **FLASH** - Prédiction des crues par apprentissage statistique, assimilation de données et modélisation semi-physique

Résumé

La prédiction des crues en temps réel constitue un problème complexe dont les implications économiques et sociétales sont de la plus grande importance. Sa complexité résulte du couplage entre les modèles atmosphériques, les modèles hydrologiques et les modèles hydro-géologiques, de plus les données enregistrées ne sont pas toujours fiables, ce qui ajoute une dimension supplémentaire à la complexité du problème. Les efforts réalisés en vue de recueillir des données plus précises, d'améliorer les modèles et de mettre en oeuvre des ordinateurs de plus en plus puissants, constituent une approche intéressante, mais qui a des limites. Le présent projet propose une alternative nouvelle, complémentaire de la précédente : elle consiste à tirer le meilleur parti des données expérimentales enregistrées en construisant des modèles obtenus par apprentissage artificiel. De plus, le projet propose de bénéficier également des connaissances physiques existantes, concernant les processus étudiés, par la conception de modèles « semi-physiques », qui combinent la souplesse des modèles obtenus par apprentissage statistique et la lisibilité des modèles physiques. Enfin, le projet propose d'intégrer dans ce cadre la technique d'assimilation de données, très utilisée en météorologie mais encore rarement mise en oeuvre en hydrologie. L'application de ces méthodes nouvelles aboutira au développement de nouveaux outils opérationnels de vigilance et de prédiction en cas de crue, fondés sur la mise en oeuvre conjointe de modèles physiques et de modèles conçus par apprentissage statistique. Les sites d'étude et de déploiement sont les bassins versants du Gardon à Remoulins et ses exutoires amonts : ce site est connu pour ses « gardonnades » dévastatrices, ceux de la Cèze et de l'Ardèche, également connues pour leurs crues éclair, ainsi que le bassin versant de la Somme, réputé pour ses crues de nappes, seront également étudiés pour valider les modèles proposés. La méthodologie développée étant générique, elle pourra être appliquée à des bassins versant très différents, permettant ainsi d'évaluer les conséquences des changements d'échelles tant spatiale que temporelle. Deux axes d'étude seront principalement étudiés : La chaîne hydrométéorologique d'alerte aux crues sera revisitée dans le cadre d'une approche systémique pour la considérer comme un système complexe, non linéaire et non stationnaire, opérant sur des données de natures différentes. Les

modèles obtenus par apprentissage statistique peuvent venir compléter les modèles physiques , ils seront utilisés (i) pour compléter en méthodologie la chaîne de prévision, afin de relier en un seul formalisme les grandeurs mesurées d'entrée et de sortie, (ii) pour proposer des techniques d'assimilation variationnelle, alternatives au modèle hydrologique à base physique et (iii) aider à l'identification de certaines lois phénoménologiques postulées dans le modèle à base physique, à partir d'une décomposition en « boîtes grises » (modèle semi-physique). Les apports de l'apprentissage statistique à l'assimilation de données pour la prévision du comportement des systèmes hydrologiques seront étudiés. Les avancées scientifiques obtenues se situeront tant au niveau de l'apprentissage statistique, par la définition de nouvelles méthodes (machines à vecteurs supports dynamiques), que pour la compréhension des phénomènes physiques (boîtes grises) ou pour l'intégration de l'assimilation de donnée au formalisme des méthodes d'apprentissage statistique. Le projet aboutira à la spécification fonctionnelle et à la définition des tests et de la recette d'une plate-forme de simulation qui pourra être développée ultérieurement par le SCHAPI (Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations), partenaire du projet, pour alimenter les prévisions VIGICRUE accessibles sur Internet. Le projet sera réalisé par un consortium pluridisciplinaire de quatre institutions de recherches partenaires: Part1: ARMINES/Ecole des Mines d'Alès, Part 2 : EDYTEM (UMR 5204), Part 3: ESPCI - Paristech/ Laboratoire d'Electronique (UMR 7084), Part 4: SCHAPI (EEDDM).

Partenaires Armines (partenaire coordinateur)
 ESPCI
 CNRS DR11
 SCHAPI

Coordinateur Mme Anne Johannet – Armines
anne.johannet@ema.fr

Aide de l'ANR 399 934 euros

Début et durée Novembre 2009 - 48 mois

Référence ANR-09-SYSC-004

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet	GEOFLUIDS - Analyse et simulation d'écoulements fluides à partir de séquences d'images : application à l'étude d'écoulements géophysiques
Résumé	Le projet Geo-FLUIDS est dédiée à l'étude de méthodes pour la mesure et l'analyse d'écoulement fluides géo-physiques à partir de séquences d'images. Le projet a pour but d'une part de développer des méthodes de traitement d'images en séquence pour l'analyse et la description d'écoulements fluides et d'autre part de proposer des modèles physiquement consistents et des outils opérationnels.
Partenaires	INRIA Rennes – Bretagne Atlantique (partenaire coordinateur) INRIA Paris Rocquencourt INRIA Grenoble – Rhône Alpes ENS IFREMER CNRS
Coordinateur	M. Etienne Memin – INRIA Rennes –Bretagne Atlantique memin@irisa.fr
Aide de l'ANR	599 724 euros
Début et durée	Novembre 2009 - 48 mois
Référence	ANR-09-SYSC-005

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet

MEPHYSTAR - MEcanique et PHYsique STATistique de la Rupture dans les matériaux fragiles hétérogènes

Résumé

Dans un milieu hétérogène, une fissure initialement droite se déforme. Cela introduit des non-linéarités dans l'étude de la propagation de la fissure, y compris dans le cadre de la mécanique linéaire élastique de la rupture (MLER) adapté à la description des matériaux fragiles. Dans MePhyStar, ces non-linéarités seront prises en compte en conciliant la MLER, adaptée à l'échelle macroscopique de la structure, avec la physique statistique plus adaptée à l'échelle hétérogène de la microstructure. Ces objectifs seront atteints par une combinaison de travaux théoriques et d'expériences spécifiquement conçues pour en vérifier la validité et en tester les limites. Dans un premier temps, on étudiera la propagation plane de fissure dans des matériaux fragiles modèles, transparents, le long d'interfaces avec des patterns (réguliers ou désordonnés) de ténacité contrôlés. En parallèle (et en liaison) avec ces expériences, on modélisera numériquement l'évolution du front de fissure dans un champ de ténacité donné en dérivant des modèles de lignes élastiques s'appuyant sur la théorie mécanique des fonctions de poids de Bueckner-Rice. Dans un deuxième temps, le chemin de propagation de fissure sera étudié théoriquement et expérimentalement dans des matériaux désordonnés modèles 2D (milieux à structure tubulaire, plaques minces de polystyrène et de grès). On s'attachera plus particulièrement à caractériser expérimentalement le rôle de l'endommagement et du type de chargement qui restent encore difficilement cernables par les modèles existants. Dans une troisième étape, on étudiera la propagation et la rugosité de fissures dans des matériaux réels 3D (grès et polystyrène). Par émissions acoustiques, validées sur les expériences 2D précédentes, nous suivrons le comportement local (en espace et en temps) de propagation du front. Nous analyserons aussi la morphologie des faciès de rupture et les fluctuations de ténacité macroscopique effective. Ces résultats serviront de base à des modélisations théoriques réalistes. Les résultats fournis par ce projet permettront de mieux comprendre la relation entre les mécanismes de propagation de la rupture et les propriétés mécaniques des matériaux (fragilité, endommagement, distribution de la ténacité). Ils suggéreront de nouvelles stratégies de renforcement de certains matériaux comme, par exemple, les revêtements minces multicouches. Les partenaires de MePhyStar ont des compétences

complémentaires en mécanique des solides, physique statistique et science des matériaux, à la fois comme théoriciens et expérimentateurs.

Partenaires

CNRS Délégation Régionale Ile de France Ouest et Nord
(partenaire coordinateur)
CEA Saclay
CNRS Délégation Régionale Paris B
CNRS Délégation Paris Michel-Ange

Coordinateur

M. Davy Dalmas – CNRS Délégation Régionale Ile de France
Ouest et Nord
davy.dalmas@saint-gobain.com

Aide de l'ANR

500 000 euros

Début et durée

Décembre 2009 - 36 mois

Référence

ANR-09-SYSC-006

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet

MEPSOM - Modélisation multiéchelle et propriétés émergentes de la dégradation microbienne des matières organiques dans les sols

Résumé

Les sols contiennent deux fois plus de carbone que l'atmosphère et ont donc un fort impact potentiel sur l'effet de serre. Les effets des changements climatiques sur la biodégradation des matières organiques dans les sols sont largement méconnus et débattus actuellement. Des résultats récents tendent à montrer que la raison de ce défaut de connaissances réside dans la grande complexité et hétérogénéité des sols à l'échelle même des microorganismes, qui limite l'accessibilité physique des substrats aux microorganismes décomposeurs. L'objectif général du projet est de comprendre et prédire les transformations microbiennes du carbone dans l'environnement complexe et structuré qu'est le sol. Nos approches de modélisation se situent en rupture nette avec les approches de boîte noire utilisées couramment pour décrire la dynamique des matières organiques des sols. Nous prendrons en effet explicitement en compte le fait que (i) les sols sont des environnements physicochimiques hétérogènes et structurés (ii) les ressources organiques et les microorganismes sont spatialement distribués de manière hétérogène et (iii) les communautés microbiennes sont complexes et entretiennent des interactions variées avec leur environnement. Le projet est fondamentalement pluridisciplinaire et associe des écologues microbiens, des biophysiciens, physiciens du sol et des modélisateurs de processus biologiques ou physiques dans les sols ainsi que des mathématiciens provenant de 5 équipes différentes. Il est organisé en 4 « work-packages » ou tâches, dans lesquels expérimentateurs et modélisateurs sont étroitement associés. Les tâches correspondent à une description spatialisée des composantes biologiques, physiques et chimiques du système à l'échelle de l'habitat microbien, à la modélisation des éléments dynamiques (microbes, diffusion de substrat, respiration) et par la suite à une prise en compte de niveaux croissants de complexité biologique et physique, depuis des souches pures dans des microcosmes de sables jusqu'aux communautés microbiennes naturelles dans des cylindres de sol non remaniés. La description du fonctionnement biologique sera couplée avec deux familles de modèles spatialisés permettant de décrire l'environnement 3-D du sol. La première est une description voxellisée du sol, un premier modèle résolvant les équations par la méthode des EDP (μ Bio-3D), le second via des procédures Lattice Boltzmann (BIO-TRT-LB). Le troisième modèle est

basé sur une description de la porosité du sol par des primitives géométriques, couplée à des méthodes algorithmiques (Mosaic II).

Partenaires

CNRS Délégation Paris B (partenaire coordinateur)
INRA
CNRS DR7
IRD
Symbios Albertay University

Coordinateur

Mme Claire Chenu – CNRS Délégation Paris B
chenu@grignon.inra.fr

Aide de l'ANR

499 990 euros

Début et durée

Décembre 2009 - 36 mois

Référence

ANR-09-SYSC-007

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet

MODYPE - Modélisation de la dynamique pelvienne

Résumé

Le projet MoDyPe présente une approche innovante dans le cadre de la chirurgie minimalement invasive et les gestes médico-chirurgicaux assistés par ordinateur. Le contexte thérapeutique abordé est celui de la cure chirurgicale des troubles de la chirurgie pelvienne. Ces troubles dont la fréquence augmente avec le vieillissement de la population altèrent toujours la qualité de vie des malades. De plus, ces pathologies handicapantes et qui touchent une population grandissante ont des causes mal connues et les pratiques chirurgicales restent mal évaluées. La réalisation d'un simulateur du comportement dynamique des organes pelviens permettant au chirurgien d'estimer l'impact fonctionnel de son geste avant sa réalisation est alors un besoin identifié. La démarche adoptée propose la détermination des fondements d'un simulateur non temps réel mais qui s'insère dans la routine clinique comme un outil de planification préopératoire patient spécifique. L'acquisition des données patient-spécifiques est obtenue par une IRM volumique et une séquence IRM dynamique. La première permet la modélisation géométrique 3D des organes d'intérêt et la seconde sert de « vérité terrain » pour la caractérisation du mouvement des organes lors d'un effort de poussée. Le modèle géométrique est associé à un modèle physique pour réaliser la simulation du comportement des organes lors d'efforts de poussée. L'originalité du projet MoDyPe réside dans l'utilisation de la séquence d'IRM dynamique comme « vérité terrain » pour la mise au point des différents paramètres de la simulation. Au-delà de la fidélité des paramètres mécaniques des modèles des organes, l'objectif du projet consiste au développement de modèles conduisant à un comportement simulé dont le réalisme est mesuré objectivement par la confrontation à cette vérité terrain. Ce dernier point est obtenu grâce à la caractérisation de la dynamique des mouvements des organes. Le consortium constitué réunit 3 laboratoires scientifiques et 3 sites: le LSIS-équipe I&M, spécialisé dans les problématiques de traitement des images médicales et de modélisation géométrique, le service de chirurgie digestive du CHU La Timone, à l'origine de la demande, qui fournit l'expertise clinique et sera utilisateur final, un groupe de chercheurs spécialistes de la modélisation mécanique et des codes de calculs issus des laboratoires IBISC et LMEE. Les autres sites cliniques associés sont le Service de Gynécologie du CHU de Nîmes et le service d'Urologie de l'hôpital Ste Marguerite à Marseille apportant des

spécialités cliniques complémentaires. Ainsi, le projet renforce une coopération existante entre des partenaires complémentaires pour répondre à un besoin aujourd'hui non satisfait. En effet, le niveau d'exigence des patients envers les résultats thérapeutiques augmente naturellement. Dans le même temps, la prise de décision du chirurgien se voit contrainte par l'information partielle dont il dispose après le diagnostic ainsi que par la difficulté de prévision de tous les aspects des conséquences du geste à réaliser dans un champ opératoire toujours plus réduit en chirurgie laparoscopique. Le marché des simulateurs chirurgicaux est un marché naissant, il existe en effet quelques sociétés américaines et européennes qui, en collaboration avec des centres de recherche scientifique et clinique, proposent des solutions. Elles permettent essentiellement la reproduction de gestes dans des contextes génériques et dans un cadre d'entraînement. L'originalité de ce projet réside dans le fait que la solution proposée répond à une problématique opératoire patient-spécifique et qu'elle s'insère dans le processus de soin sans le perturber. La méthodologie proposée inclut une évaluation du résultat par comparaison avec une vérité terrain. Les retombées attendues du projet MoDyPe sont multiples: - les technologies clés que sont la modélisation géométrique et physique des organes pelviens sont encore à développer , - la compréhension de la dynamique pelvienne et l'estimation des impacts fonctionnels de la chirurgie permettraient un bénéfice thérapeutique notable , - et enfin ce projet permettrait de développer un prototype logiciel qui serait à la base d'un développement industriel ultérieur pour favoriser l'émergence d'un acteur français du domaine.

Partenaires

CNRS Délégation Provence et Corse (partenaire coordinateur)
Assistance Publique Hôpitaux de Marseille
Université d'Evry Val d'Essonne
Université d'Evry Val d'Essonne

Coordinateur

M. Marc-Emmanuel Bellemare – CNRS Délégation Provence et Corse
marc-emmanuel.bellemare@isis.org

Aide de l'ANR

449 998 euros

Début et durée

Janvier 2010 - 36 mois

Référence

ANR-09-SYSC-008

Label pôle

Eurobiomed

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet **ODESSA - Ordinary Differential Equations and State-space models for regulatory and Signalling pAthways identification**

Résumé

Ce projet vise à résoudre des questions complexes d'apprentissage statistique posées dans le cadre de la modélisation inverse de réseaux de régulation génique et de signalisation à partir de données expérimentales. Nous partons de deux tâches emblématiques de la modélisation inverse en biologie des systèmes, liées à la fonction de plusieurs récepteurs nucléaires: une première tâche concerne l'identification de gènes cibles de l'acide rétinoïque, pour chacun des trois récepteurs nucléaires (RAR α , β , et γ), la seconde tâche porte sur la fonction du récepteur nucléaire rev-erb α , (NR1D1) et sa capacité à moduler l'horloge circadienne en réponse à des stimulations variées. Dans chacun des cas, le système dynamique sous-jacent peut être décrit par un système d'équations différentielles. L'estimation des paramètres et du graphe d'interaction de ces deux réseaux soulève plusieurs difficultés, parmi lesquelles nous avons identifié le problème du couplage d'un algorithme d'estimation de paramètres à structure fixée avec un algorithme d'apprentissage de structure, l'incorporation de contraintes sur la dynamique pendant l'apprentissage et la capacité d'ordonner un ensemble de modèles induits ou de tester des hypothèses sur la structure ou les paramètres d'une famille de modèles donnée. Pour résoudre ces difficultés, nous proposons d'approfondir et d'étendre deux cadres d'apprentissage statistique : l'un est fondé sur les modèles à espace d'état et l'apprentissage bayésien, l'autre s'appuie sur une estimation en deux étapes des paramètres d'un système d'équations différentielles en prenant avantage d'un lissage des données par décomposition en base de splines ou à l'aide d'autres méthodes à noyaux. Ce projet repose sur une collaboration étroite entre biologistes, mathématiciens et informaticiens, chaque discipline contribuant à chaque brique de base du projet. Nous nous efforcerons d'établir un équilibre entre la conception d'outils théoriques et algorithmiques et la formulation d'une réponse appropriée aux questions biologiques. Autant que possible, les prédictions produites à l'aide des modèles identifiés seront vérifiées expérimentalement et le cas échéant, validées.

Partenaires

Université d'Evry-Val d'Essonne (partenaire coordinateur)
CNRS Délégation Rhône-Auvergne

Coordinateur Mme Florence Dalche Buc – Université d'Evry-Val d'Essonne
florence.dalche@ibisc.univ-evry.fr

Aide de l'ANR 359 582 euros

Début et durée Décembre 2009 - 36 mois

Référence ANR-09-SYSC-009

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet

ROLSSES - Localisations robustes et optimales pour des systèmes et un environnement durables

Résumé

Le projet se situe dans le domaine de la recherche fondamentale et exploratoire. Il associe des chercheurs en géographie et en mathématiques (optimisation et statistique), ainsi que des aménageurs ayant un pouvoir de promotion et de décision sur les territoires. Quatre cas concrets seront analysés dans la recherche proposée, dont un centre d'enfouissement des déchets pour le Pays Roannais (COPLER) et un Espace Logistique Urbain à Avignon (Chambre de Commerce et de l'Industrie). Plusieurs cas seront simulés, sur des espaces continus (localisation ubiquiste du centre) versus finis (localisations possibles selon contraintes), sur des surfaces versus des graphes de réseaux (routes). Le projet est fortement interdisciplinaire. Il s'agit d'évaluer la relation entre des méthodes mathématiques et l'impact et le sens du résultat spatialisé de celles-ci. Le projet possède un grand potentiel d'utilité publique, se plaçant en amont d'éventuelles applications opérationnelles. Le projet aborde les problèmes connus de location-allocation et K-facilités (ici, la localisation d'une facilité pour N demandes) sous un angle innovant et original par rapport aux recherches développées jusqu'alors, car résolument tourné vers la sémantique des centres. L'objectif global est de fournir aux décideurs et aux aménageurs de l'espace géographique des informations fiables et pertinentes leur permettant d'évaluer les caractéristiques et propriétés de différents centres dans des contextes géographiques théoriques ou réalistes, c'est à dire face à des configurations spatiales particulières de la demande, observées, construites ou simulées. Au-delà des approches éprouvées, qui constituent de nombreuses années et publications de recherche en mathématiques depuis les années 80, en économie spatiale et en géographie, qui visent à trouver le « centre optimal » en fonction d'un objectif donné (efficacité, équité...), le coeur du projet est la production d'une information duale et instruite, précisant les propriétés de différents centres et notamment leur sensibilité à deux facteurs essentiels : la configuration spatiale de la demande et la méthode utilisée pour déterminer le centre (approche, métrique, fonction d'objectif...). La relation entre ces deux facteurs induit les propriétés qui nous intéressent particulièrement dans ce projet et dont, actuellement, les décideurs manquent cruellement pour prendre des décisions en connaissance de causes. Un centre peut en effet être « optimal » selon certains critères et une certaine rationalité, c'est à dire tour à tour « pertinent

» pour un objectif visé ou une « vocation », plus ou moins « sensible », « robuste » car résistant à des modifications aléatoires de la demande, « précis » ou « exact » quant à sa localisation en fonction de la métrique employée, « stable » dans le temps et l'espace géographique, voire « durable », compte tenu d'évolutions passées, ou possibles voire prévisibles de la demande dans l'espace géographique. Plus concrètement, il s'agira de répondre aux questions suivantes : si j'utilise telle ou telle méthode de détermination du centre, quelle seront les propriétés de ce centre, selon la méthode employée et le cas traité ? Peut-on construire un ensemble d'indicateurs pour décrire les propriétés du centre ? Quelle est l'impact la méthode de localisation choisie sur la localisation du centre ? Quelle est la sensibilité de ce dernier à d'infimes variations de la méthode employée ? Quelle est l'influence du semis de points de demande (sa topologie dans l'espace) sur la pertinence du centre déterminé ? Le centre trouvé répond-il à l'objectif d'aménagement fixé ? etc. Ces éléments constituent autant de dimensions d'analyse pour construire une méthode d'aide à la décision utile et la plus complète possible, qui dépasse la classique application de méthodes éprouvées dont on pense connaître a priori l'effet (i. e. p-centre modélisant l'équité, p-médiane modélisant l'efficacité).

Partenaires

Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (partenaire coordinateur)
Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
Chambre de Commerce et d'Industrie de Vaucluse
Communauté de Communes du pays entre Loire et Rhône

Coordinateur

M. Didier Josselin – Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
didier.josselin@univ-avignon.fr

Aide de l'ANR

250 000 euros

Début et durée

Décembre 2009 - 36 mois

Référence

ANR-09-SYSC-010

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet

SICOGIF - Simulation, contrôle et optimisation d'écoulements induits par des géométries

Résumé

Pendant cette dernière décennie la théorie du contrôle a fait progressivement son apparition dans le domaine de la mécanique des fluides et notamment grâce à l'augmentation des capacités des ordinateurs ainsi que du développement d'actionneurs et de récepteurs. Le contrôle optimal d'écoulements complexes basé sur une représentation de l'état complet du fluide rend nécessaire la manipulation de systèmes dynamiques de très grandes dimensions, qui ne peuvent guère être appréhendés par des outils mathématiques de la théorie des systèmes dynamiques ou la théorie du contrôle. Des modèles réduits, capables de reproduire la dynamique des fluides, sont par conséquent un préalable pour envisager de mettre en oeuvre un contrôle d'écoulements complexes. Deux configurations d'écoulements sont considérées : l'écoulement dans un tube exhibant un rétrécissement, du type sténose, ainsi que l'écoulement de couche limite le long d'une bosse. Des méthodes numériques de haute précision sont employées afin de simuler la dynamique des écoulements. La dynamique d'instabilité de ces écoulements est abordée et le problème de stabilité est formulé en termes de problèmes aux valeurs propres matriciels de très grande taille. Des méthodes numériques récentes, s'appuyant sur des analyses mathématiques, sont utilisées et qui permettent de déterminer le spectre qui caractérise la dynamique en des points fixes instables du système de Navier-Stokes non linéaire. L'objectif principal du projet est d'asseoir la faisabilité d'un contrôle en boucle fermée dans des situations réelles, en construisant des modèles d'ordres réduits à partir de principes numériques et mathématiques et en prenant en considération la physique de la dynamique des écoulements. L'enjeu clé est la projection de la dynamique totale sur un système de dimension relativement faible et différentes approches de projections sont explorées, utilisant la base des vecteurs propres. La fiabilité des modèles réduits ainsi obtenus en termes de contrôlabilité et observabilité est établie, en comparant avec le concept entrée-sortie bien connu en théorie des systèmes. Le problème d'estimation est résolu et le contrôleur est couplé avec la simulation directe de l'écoulement. La géométrie du type sténose, qui peut-être considérée comme une simplification d'écoulements artériels, ainsi que la géométrie avec bosse, rappelant un contexte aéronautique à faibles vitesses, sont reproduites expérimentalement. La pertinence des différents modèles obtenus

par voie numérique est établie par rapport aux résultats expérimentaux. Tandis que dans la plupart des applications réelles un contrôle efficace est souvent obtenu par des approches empiriques, le projet a pour ambition de concevoir un contrôle en boucle fermée basé sur des principes mathématiques.

Partenaires

Université de Provence (partenaire coordinateur)
Arts et Métiers Paris Tech
Université Jean Monnet
Université de Nice-Sophia Antipolis

Coordinateur

M. Uwe Ehrenstein – Université de Provence
ehrenstein@irphe.univ-mrs.fr

Aide de l'ANR

346 508 euros

Début et durée

Novembre 2009 - 36 mois

Référence

ANR-09-SYSC-011

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet

SIMISOL - Simulation Multiéchelles des Ions aux interfaces Solide-Liquide

Résumé

Nous nous proposons de développer une description multiéchelles de la sorption et du transport des ions dans les milieux hétérogènes chargés, qui tienne compte de la spécificité chimique. Nous mettrons en œuvre cette approche dans le cas des minéraux argileux, qui portent une charge structurale permanente négative. Ces minéraux sont le constituant principal des formations géologiques étudiées en France, en Belgique et en Suisse, dans le cadre de la recherche de sites de stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs. L'utilisation de ces matériaux comme barrières ouvragées est également envisagée dans ce contexte. L'évaluation de la performance des argiles comme barrières de rétention nécessite une compréhension détaillée, ainsi qu'une capacité de prédiction, de la façon dont les espèces radioactives, qui sont souvent chargées, sont transportées à travers ces matériaux poreux et fixés par eux.

Nous y parviendrons par une approche de changement d'échelle (« coarse-graining ») dans laquelle chaque niveau de description est calibré sur un niveau plus fondamental, depuis des représentations atomiques vers des descriptions mésoscopiques et hydrodynamiques. Dans un premier temps, nous obtiendrons une description réaliste des ions au voisinage d'une surface d'argile aux échelles atomiques et mésoscopiques. Dans un second temps, et une fois ces modèles validés par comparaison à des données expérimentales, nous les utiliserons pour fournir des données difficilement accessibles expérimentalement, afin de compléter la compréhension des processus de sorption et de transport des cations au niveau microscopique. Nous lèverons deux verrous scientifiques associés à cette stratégie de coarse-graining: (i) d'une part l'élaboration d'un champ de force réaliste pour la simulation moléculaire classique d'ions (y compris des ions multivalents et polarisables) au voisinage d'une surface d'argile, à partir de simulations ab-initio ; (ii) d'autre part la calibration sur les simulations moléculaires de modèles mésoscopiques du même système. Cette approche « bottom-up » permettra d'expliquer comment les interactions spécifiques à courte portée modifient les effets électrostatiques et hydrodynamiques à plus longue portée. De plus elle permettra de calculer les paramètres correspondant aux différents niveaux de modélisation, qui sont généralement ajustés sur les données expérimentales ou choisis de façon arbitraire.

Ce projet de recherche fondamentale associera des théoriciens de laboratoires académiques (fournisseurs de modèles) et l'agence industrielle et de recherche en charge de la gestion des déchets nucléaires en France (utilisateur final industriel, ANDRA). La description multiéchelles de la sorption et du transport des ions au voisinage des surfaces chargées, tenant compte de la spécificité chimique et développée ici dans le cas des argiles, trouvera des applications dans de nombreux domaines scientifiques et technologiques, tels que la biologie, la chimie analytique et séparative, la microfluidique, la dépollution de l'eau ou encore de nombreux processus industriels et environnementaux. Une partie des résultats obtenus seront utilisés par l'ANDRA dans ses documents à destination du grand public ou des institutions gouvernementales et parlementaires. Enfin, les modèles mésoscopiques auxquels nous aboutirons pourront ensuite être exploités par la communauté de l'homogénéisation mathématique pour le passage de l'échelle du pore à celle de l'échantillon macroscopique.

Partenaires

Université Pierre et Marie Curie (partenaire coordinateur)
Agence National pour la gestion des déchets radioactifs
ENS

Coordinateur

M. Pierre Turq – Université Pierre et Marie Curie
turq.anr@gmail.com

Aide de l'ANR

299 152 euros

Début et durée

Novembre 2009 - 36 mois

Référence

ANR-09-SYSC-012

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet **SIMPA - Simulations de parenté : modélisation de la dynamique matrimoniale et mnémonique dans les réseaux de parenté**

Résumé

L'objectif de SimPa est d'aboutir à un modèle intégré de l'émergence de circuits matrimoniaux dans les réseaux de parenté, ainsi qu'à des techniques de simulation permettant la modélisation réaliste des réseaux utilisés par les chercheurs (anthropologues, démographes, historiens et sociologues) étudiant ces réseaux. Ces techniques seront implémentées dans des logiciels librement accessibles et facilement utilisables. En même temps, ce projet contribuera, par l'analyse de la dynamique d'un type spécifique de réseau, à la compréhension de la morphogenèse des réseaux faiblement acycliques et à la théorie statistique d'événements interdépendants. Cette double ambition -, fournir aux sciences sociales un instrument d'analyse indispensable et faire avancer un domaine méthodologique important de la mathématique des réseaux -, se reflète dans la composition des porteurs du projet, qui réunit mathématiciens, statisticiens, démographes et anthropologues. Le but immédiat du projet consiste à résoudre, par voie de simulation contrôlée, une série de problèmes qui entravent jusqu'à présent l'interprétation de recensements de circuits dans des réseaux de parenté, et, partant, toute tentative de fonder l'analyse d'un système de parenté sur l'examen des pratiques matrimoniales empiriques : ces problèmes concernent la distribution attendue de circuits sous des hypothèses réalistes, la neutralisation des biais du corpus, et l'identification des artefacts du réseau. Le traitement de ces problèmes promet des connaissances approfondies sur la topologie des réseaux faiblement acycliques, dont les réseaux de parenté ne sont qu'un cas particulier. En effet, les réseaux de parenté offrent la possibilité de résoudre plusieurs problématiques théoriques concernant les approximations présentes dans des données empiriques dans un cas où les règles de relation et de formation semblent a priori plus strictes, plus contraignantes et donc aussi plus régulières que pour de nombreux autres réseaux d'interaction. Le projet manifeste donc à la fois un intérêt pratique éminent pour les études de parenté, en ce qu'il promet de débloquer la voie pour l'identification et l'interprétation des motifs significatifs dans des réseaux de parenté, et un intérêt théorique plus large pour la théorie des graphes et la méthodologie de simulation. A ce dernier égard, le projet représente une étude pionnière : il n'existe pas, jusqu'à présent, un modèle intégré de simulation sous contrainte de

données manquantes ou capable de contrôler les artefacts du réseau, et le traitement statistique de motifs réticulaires (en tant qu'événements interdépendants) est toujours à l'état embryonnaire. La contribution du projet SimPa relève donc aussi bien des sciences formelles (mathématique et statistique) que des sciences sociales (études de parenté).

Partenaires INED (partenaire coordinateur)
CNRS DR1
CNRS DR1

Coordinateur M. François Heran – INED
heran@ined.fr

Aide de l'ANR 349 046 euros

Début et durée Novembre 2009 - 36 mois

Référence ANR-09-SYSC-013

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet **STATOCEAN** - Mécanique statistique hors équilibre des grandes échelles océaniques : application à la bistabilité du Kuroshio (courant sur la côte est du Japon) et à l'anticyclone de Zapiola (anticyclone océanique au large de l'Argentine)

Résumé

Les écoulements géophysiques externes, océans et atmosphère, ont un impact majeur sur nos sociétés, non seulement parce qu'ils sont une des composantes majeures du climat, mais également parce leur compréhension a des répercussions économiques importantes. Ces écoulements turbulents font intervenir un très grand nombre de degrés de liberté, et une variété étonnante d'échelles spatiales et temporelles les caractérisent. Il est donc naturel de chercher à réduire cette complexité grâce à des outils de physique statistique. C'est notre objectif. Bien que les écoulements géophysiques soient hors équilibres, nous considérerons dans une première partie la théorie d'équilibre dite de Robert-Sommeria-Miller (RSM), pour expliquer une partie de leurs propriétés. Cette approche d'équilibre, essentielle mais nécessairement limitée, sera complétée par le développement dans le contexte de modèles d'écoulements géophysiques, d'outils les plus modernes de la physique statistique hors équilibre, par exemple la théorie des grandes déviations ou à plus long terme des approches de type thermodynamique des histoires (formalisme de Ruelle initialement développé pour les systèmes déterministes et récemment généralisé aux processus stochastiques). Nous nous intéresserons plus précisément à plusieurs phénomènes liés à la dynamique des grandes échelles des courants océaniques, d'une part la bistabilité de certains courants de bord ouest tel le Gulf-Stream, mais plus particulièrement la bistabilité du Kuroshio (à l'est du Japon) et d'autre part l'auto-organisation de l'anticyclone de Zapiola, un tourbillon océanique au large de l'Argentine. Notre choix pour ces exemples a été guidé par l'importance de ces phénomènes dans la circulation océanique, mais aussi pour leur intérêt en terme de physique statistique. En effet, le Kuroshio montre une situation de bistabilité que nous expliquerons par la proximité d'une transition de phase hors équilibre. Le Zapiola est un exemple paradigmatique d'auto-organisation proche d'un équilibre statistique. Ces deux problèmes serviront d'exemple pour illustrer l'intérêt de la physique statistique pour les écoulements en géophysique en général. Le Kuroshio joue en rôle essentiel pour le transport d'énergie vers les pôles dans la région pacifique. L'étude de sa bistabilité et la variabilité (fluctuations) associée sont donc des problèmes

essentiels en géophysique. Grâce aux progrès exceptionnels obtenus ces vingt dernières années par la communauté océanographique, ces phénomènes sont maintenant raisonnablement reproduits dans une hiérarchie de modèles de complexité croissante. Le but d'une approche de physique statistique est de développer : i) des idées théorique expliquant et prédisant la forme de l'auto-organisation de ces écoulements, indépendamment de la complexité dynamique, ii) des outils de caractérisation précise de la statistique de la dynamique de ces écoulements (grandes déviations) iii) la mise au point de modèles de complexité moindre, avec moins de degrés de liberté, reproduisant de façon satisfaisante les phénomènes et utilisable pour des modèles climatiques, ce qui n'est pas le cas actuellement. Notre approche s'inscrit donc en complément et non en opposition avec les approches traditionnelles de mécanique des fluides et de dynamique non linéaires développées jusqu'à présent par les océanographes. Une composante non négligeable du projet est expérimentale, visant à reproduire en laboratoire le type de bistabilité caractéristique du Kuroshio, grâce aux indications données par les prédictions de la mécanique statistique. Le projet regroupe une équipe spécialiste de mécanique statistique pour les écoulements géophysiques (INLN) et deux des plus grands laboratoires d'océanographie français (LPO, Brest) et (LEGI, Grenoble). En terme de dynamique des océans, il regroupe des équipes spécialistes des simulations numériques à tous les degrés de complexité, des modèles les plus académiques aux plus réalistes, et une équipe expérimentale mondialement reconnue pour ses apports à la mécanique des fluides géophysiques.

Partenaires CNRS Délégation Côte d'Azur (partenaire coordinateur)
Université de Bretagne Occidentale
CNRS DR11

Coordinateur M. Freddy Bouchet – CNRS Délégation Côte d'Azur
freddy.bouchet@inln.cnrs.fr

Aide de l'ANR 332 731 euros

Début et durée Novembre 2009 - 36 mois

Référence ANR-09-SYSC-014

Programme SYSCOMM

Edition 2009

Titre du projet **TRAM – Transport anormal en milieu poreux**

Résumé

Des effets de mémoire se manifestent en milieux poreux instaurés par des courbes de percée décroissant qualitativement beaucoup plus lentement qu'en milieu saturé, en désaccord avec la loi de Fick. La pertinence de ce phénomène en conditions insaturées n'est pas évidente pour tous les auteurs, et il reste à vérifier qu'il correspond bien un à comportement asymptotique (loi de puissance fractionnaire) persistant aux grands temps. S'il en est ainsi, il faudra un autre modèle que les lois de Fick et Fourier pour le transport de matière dans ces milieux: le mouvement Brownien ne représentera pas les mouvements à petite échelle d'un traceur passif. Pour l'évolution de la densité de traceur, il faudra modifier la loi de Fourier en insérant une dérivée temporelle d'ordre non entier. Des expériences à des échelles allant d'une dizaine de microns à l'ordre d'un mètre doivent permettre de préciser le caractère Fickien ou non Fickien du transport de traceur dans de les milieux poreux instaurés. Aux petites échelles, on caractérise la statistique régissant les mouvements des particules, alors qu'à grande échelle on mesure des densités. Donc les expériences s'adressent à des variables différentes. Cependant on sait les relier à l'aide d'un modèle présentant deux versions mathématiquement équivalentes. A petite échelle on a des marches au hasard plus générales que le mouvement Brownien, et à l'échelle macroscopique la densité de marcheurs vérifie une équation aux dérivées partielles très semblable à la loi de Fourier, avec une dérivée temporelle d'ordre fractionnaire à côté de celle d'ordre un. L'ordre de cette dérivée (entre 0 et 1) est un paramètre essentiel, directement lié au mouvement des particules de traceur. Les mesures permettent de le déterminer, grâce aussi à des outils de simulation disponibles pour les deux versions du modèle. Le projet accroîtra leur souplesse, afin d'inclure de nombreuses hypothèses physiques. Les expériences sont de la Résonance Magnétique Nucléaire, parallèlement à du suivi de traceur passif, à l'intérieur d'une colonne, par la tomographie X, pour accéder à des profils de concentration en écoulement stationnaire. Dans les deux cas on suit un maximum de paramètres du milieu. Des outils numériques adaptés et innovants serviront à comparer les données, en utilisant les deux aspects du modèle théorique, l'ordre de sa dérivée fractionnaire sera déterminé. On comparera aussi avec une approche restant dans le cadre de la loi de Fourier, avec une diffusivité dépendant de la position, et qu'on reliera à la teneur en eau. On complétera la discussion par une approche de

Modélisation du Réseau de Pores, fondée sur une représentation fidèle de celui-ci, dans laquelle on incorporera des renseignements tirés de l'approche de RMN en particulier la version stochastique du modèle théorique. On discutera la cohérence entre les modèles et ces résultats. On saura ainsi si un saut qualitatif au niveau des modèles est nécessaire pour le transport de soluté en milieu poreux insaturé, comme le sol et le sous-sol, y compris pour des durées très longues. Les outils de simulation et d'interprétation des données à mettre en oeuvre dans ce but permettront un meilleur suivi des risques de pollution et accroîtront nos moyens d'analyse d'un milieu donné.

Partenaires

Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse (partenaire coordinateur)
CEA
IFP

Coordinateur

Mme Marie Christine Neel – Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse
mcneel@avignon.inra.fr

Aide de l'ANR

450 000 euros

Début et durée

Décembre 2009 - 36 mois

Référence

ANR-09-SYSC-015