

Projet de création de la Maison Interdisciplinaire des Systèmes Complexes d'Orléans-Tours

La fédération CaSciModOT, qui vient d'être reconnue membre du Réseau National des Systèmes Complexes (RNSC), porte le projet de création d'une Maison Interdisciplinaire des Systèmes Complexes (MISC). La MISC souhaite répondre à l'appel à projet comme "Réseaux thématiques de recherche" du Centre-Val de Loire Université en vue de favoriser la recherche interdisciplinaire au sein du CVLU et de développer l'animation scientifique autour de la modélisation et l'analyse des systèmes complexes.

CONTEXTE GLOBAL

Nous entendons par "systèmes complexes" le champ de recherche interdisciplinaire cherchant à expliquer comment un large nombre d'entités relativement simples s'organisent, sans influence d'un planificateur central, au niveau spatial et temporel. Ce champ concerne aussi bien les systèmes physiques, biologiques, cognitifs et informationnels qu'économiques et sociaux. Les travaux célèbres de Schrödinger¹, Eigen² et Prigogine³ peuvent être considérés comme précurseurs d'une recherche interdisciplinaire dans le domaine des systèmes complexes et les nouvelles disciplines éconophysique⁴ et socio-physique⁵ en sont des exemples récents. Ici la description de l'interaction prend une nouvelle dimension du fait que les constituants du système sont actifs – ils peuvent utiliser de l'information, évoluer et apprendre⁶. Dans le monde entier, des centres dédiés à la recherche sur les systèmes complexes ont été créés.⁷ La simulation numérique joue un rôle clé pour l'étude de systèmes complexes, car elle permet la construction et l'étude de systèmes modèles dans des situations parfaitement contrôlables et on peut ainsi établir un lien entre des modèles mathématiques et l'observation expérimentale et également valider des modèles mathématiques sur le plan théorique. D'innombrables applications dans tous les domaines de la science illustrent cette approche et on note dans ce contexte que les pionniers de la simulation moléculaire, Martin Karplus, Michael Levitt et Arieh Warshel, ont été récompensés pour le "développement de modèles multi-échelle pour des systèmes chimiques complexes" par le Prix Nobel de Chimie de 2013.

CONTEXTE RÉGIONAL

Le calcul scientifique (CaSci) et la modélisation (Mod) des systèmes constituent depuis sa fondation les deux axes principaux de CaSciModOT. De ce fait, la MISC s'inscrit dans ce projet d'une manière naturelle et s'appuie sur les ressources indispensables du Centre de Calcul Scientifique en région Centre (CCSC). Un projet précurseur pour l'analyse des systèmes complexes a été créé en 2012 à Orléans sous le nom d'AMISC (Analyse et Modélisation des Interactions dans les systèmes complexes). Le projet était porté par Stéphane Cordier, directeur de l'Institut Thématique Pluridisciplinaire (ITP) Modélisation Systèmes de l'Université d'Orléans et par Cem Ertur, directeur du Collegium UFR Droit, Economie et Gestion, comme directeur scientifique. Il a été soutenu par le programme PEPS (Projet Exploratoire Premier Soutien) du CNRS et il avait pour objectif de favoriser les rencontres entre des chercheurs de disciplines aussi variées que l'économie, la linguistique, les sciences de l'éducation, les mathématiques appliquées, l'informatique, la biologie, la robotique et la physique. Ce PEPS s'est concrétisé autour de séminaires mensuels, d'un colloque international, de l'emploi de stagiaires autour des enjeux de l'analyse et de la modélisation des systèmes complexes et l'édition d'un ouvrage centré sur la prise en compte des interactions dans les systèmes complexes. Ce PEPS touchant à son terme, la MISC en est la continuation logique et souhaitée par l'ensemble des chercheurs et des laboratoires ayant participé aux différentes manifestations.

Le projet MISC permet de donner un cadre encore plus ambitieux pour faciliter, encourager et promouvoir les rencontres entre les chercheurs du PRES Centre Val de Loire Université et des collègues du monde entier travaillant sur la thématique des systèmes complexes. L'idée est de créer une maison interdisciplinaire se positionnant comme un hôtel à projets. Plusieurs pistes sont identifiées pour un tel lieu. La MISC s'inscrirait notamment dans la dynamique du projet européen FuturICT sur la compréhension et le développement d'outils d'information et de communication sur la complexité des systèmes sociaux en interactions. La dimension internationale de notre projet MISC se traduirait en particulier par des collaborations avec des projets similaires en France et à l'étranger et par des actions communes avec LE STUDIUM (chercheurs invités ou consortiums). Dans le cadre de l'ouverture de la modélisation vers les Sciences Humaines et Sociales, la MISC serait conduite à développer des actions en interaction avec la Maison des Sciences Humaines (MSH Orléans-Tours). Enfin, cette maison s'intégrera par ailleurs dans le Réseau National des Systèmes Complexes, groupement d'intérêt scientifique visant à rassembler tous les acteurs qui souhaitent contribuer au développement de la science des systèmes complexes au-delà des barrières institutionnelles, disciplinaires et géographiques.

La thématique "systèmes complexes" concerne une large communauté de chercheurs à Orléans et Tours et il est possible d'apprécier ci-dessous différents exemples de thématiques développées dans le cadre des sciences de la vie et des

-
1. Erwin SCHRÖDINGER. *What is Life?* Cambridge University Press, 1944.
 2. Manfred EIGEN et Peter SCHUSTER. *The Hypercycle - A principle of Natural Self-Organization*. Springer, 1979.
 3. Ilya PRIGOGINE. *Introduction to the thermodynamics of irreversible processes*. John Wiley, 1962 ; Ilya PRIGOGINE. *From Being to Becoming - Time and Complexity in Physical Sciences*. W.H. Freeman et Company, 1981.
 4. Rosario N. MANTEGNA et H. Eugene STANLEY. *Introduction to Econophysics : Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge University Press, 2007.
 5. Serge GALAM. *Sociophysics : A Physicist's Modeling of Psycho-political Phenomena*. Springer, 2012.
 6. Michael MITCHELL. *Complexity, a guided tour*. Oxford University Press, 2004.
 7. Quelques exemples sont : Sante Fe Intitute, Sante Fe, New Mexico (USA) (<http://www.santafe.edu>), New England Complex Systems Institute, Cambridge, MA (USA) (<http://necsi.edu>), Institut des Systèmes Complexes, Paris Île-de-France (<http://www.iscpif.fr>).

sciences humaines et sociales, domaines vers lesquels s'ouvre le projet MISC, sans exclure des interactions déjà initiés par CaSciModOT.

- **Sciences de la vie** : Les biologistes font face à de nouveaux enjeux. A l'échelle des individus, après des décennies de développement d'outils biologiques permettant des approches aux échelles cellulaire et moléculaire, l'avènement des technologies dites "omiques" (génomique, transcriptomique, protéomique ...) a permis de mesurer un grand nombre de paramètres de l'individu mis dans différentes conditions (pathologiques, environnementales ...). Ces approches génèrent de grandes quantités de données dont l'analyse et l'interprétation représentent de nouveaux enjeux pour les biologistes. Si le fonctionnement de la cellule commence à être bien décrypté, les interactions entre voies de régulations intracellulaires mais aussi entre cellules dans un tissu ou un organe sont abordées de manières très contraintes. Chaque niveau représente un système complexe et l'intégration multi-échelle représente un enjeu considérable. A l'échelle des populations, la compréhension de leurs interactions avec l'environnement dans le temps et l'espace intègre depuis longtemps des approches mathématiques notamment en écologie et dynamiques des populations. Ces approches représentent aussi un enjeu majeur de compréhension et de prédiction dans le contexte actuel de changement globaux de l'environnement. Voici quelques exemples de projets développés en biologie sur les sites de Tours et d'Orléans qui font appel à des approches de modélisation et de calcul scientifique :
 - *AGROECO* : *Pest management through conservation biological control in agroforestry*. Projet Région (2013-2016). Coordonnateurs : J. Casas, C. Suppo, IRBI CNRS UMR 7261, Prof. S. Anita, (Univ. Isai, Roumanie) ;
 - *CONTROSPA* : *Etude Spatio-temporelle des systèmes proies-prédateurs*. C Suppo, IRBI CNRS UMR 7261 et S. Madec ;
 - *GPCRnet* : *Déchiffrement du réseau de signalisation dépendant des bêta-arrestines induit par les récepteurs couplés aux protéines G*. Projet ANR Blanc (2011-15), porteur Eric Reiter, équipe Biologie et Bioinformatique des Systèmes de Signalisation (BIOS), PRC INRA UMR7247 CNRS/Univ. François Rabelais, IFCE, LabeX MablImprove ;
 - *SPUTNIK* : *Simulating experiments for the study of protein structure and dynamics*. Projet ANR COSINUS (2011-14), porteur G. Kneller, Equipe Biophysique Théorique, CBM UPR 4301 CNRS Orléans. (<https://dirac.cnrs-orleans.fr/SPUTNIK>) ;
 - *MOTIMO* : *Développement d'une approche automatisée de l'évaluation de la qualité de la semence*. Projet ANR, porteur Pierre Degond- Univ. Toulouse, partenaire Xavier Druart équipe Interactions Cellulaires et Fertilité (ICF), PRC INRA UMR7247 CNRS Univ. François Rabelais IFCE (<http://www.math.univ-toulouse.fr/motimo/>) ;
 - *Playing POOLS* : Ce projet soutenu par le département PHASE (Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage) a pour objectif de développer un modèle stochastique du réseau de neurones à GnRH. Projet Crédits Incitatifs PHASE (2013-2015). Porteur A. Duittoz, équipe Microenvironnement et Dynamique des réseaux neuroendocrines (MiDynNet) PRC INRA UMR7247 CNRS/Univ. François Rabelais IFCE ;
 - *PROTDYN* : *Développement de nouveaux modèles pour le repliement des protéines*. Projet Région (2013-15), Antti Niemi LMPT CNRS Tours (porteur), G. Kneller CBM UPR 4301 CNRS Orléans (partenaire).
- **Sciences de l'environnement** : Les sciences de l'environnement relèvent d'une approche interdisciplinaire pour laquelle la modélisation apparaît particulièrement adaptée. Depuis les années 1970, la modélisation était surtout centrée sur la transformation de la pluie en écoulement en rivière pour des problèmes d'ingénierie opérationnelle à l'échelle locale. A l'heure actuelle, les modèles intègrent de plus en plus des aspects thématiques comme l'hydrologie, l'agronomie, la climatologie mais aussi la socio-économie à des échelles d'espace beaucoup plus importantes. Il s'agit donc de faire évoluer les outils de modélisation pour prendre en compte la complexité des phénomènes, les variabilités spatio-temporelles et la multiplication des bases de données. Trois exemples de projets en cours :
 - *Spatialisation du régime thermique des cours d'eau et impact du changement climatique*. Convention pluriannuelle Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (Ministère de l'Environnement) depuis 2011. Laboratoire GéHCO, Université de Tours, Florentina Moatar, Florence Curie. Collaboration LIFO Orléans (Emmanuel Melin), Yann Jullian (ingénieur calcul recrute à la Faculté des Sciences de l'Univ. François Rabelais Tours pour CaSciModOT) ;
 - *Modélisation de l'eutrophisation de la Loire*. Financement Etablissement Public Loire/FEDER/Agence de l'Eau Loire Bretagne. Laboratoire GéHCO, Université de Tours, F. Moatar, F. Curie, Collaboration LIFO Orléans (E. Melin), Y. Jullian ;
 - *FDTE* : *Fouille de données temporelles et environnementales* (Tourbières de La Guette en Région Centre et de Frasnes dans le Jura). Projet Région (2012-14), Ch. Vrain, LIFO EA4022, Université d'Orléans.
- **Sciences de la matière condensée** : Les thématiques générales de l'équipe Simulations Numériques du GREMAN (Groupe de recherche en matériaux, microélectronique, acoustique et nanotechnologies (UMR 7347 CNRS/Université de Tours) concernent tant les propriétés à l'équilibre que la dynamique hors-équilibre de systèmes complexes où les interactions sont en compétition avec du désordre intrinsèque. Dans ce cadre sont étudiés, au niveau microscopique et mésoscopique, des systèmes aussi variés que des colloïdes, des vortex supraconducteurs, des fluides complexes et des systèmes biologiques. Les simulations numériques (Monte Carlo, dynamique moléculaire, dynamique brownienne) sont basées sur la physique statistique et la théorie des systèmes dynamiques. Un projet récent à citer dans ce contexte est
 - *OCARMEL* : *Optimisation des CARactéristiques de Multiferritoques magnéto-Électriques*. Projet Région (initiative académique, 2013-2015), GREMAN CNRS Tours (porteur), CEMHTI CNRS Orléans (partenaire).
- **Sciences de l'ingénieur** : Les sciences de l'ingénieur (par exemple les écoulements turbulents réactifs, la combustion multiphasique, le captage du CO₂, etc) s'intéressent par définition à des systèmes complexes et forcément pluridisciplinaires. Ses domaines de recherche sont à l'intersection de la mécanique

des fluides, des sciences des matériaux, de la thermodynamique et thermique, de la physico-chimie, des sciences de l'environnement, des mathématiques appliquées pour les calculs scientifiques et bien d'autres. De plus en plus les sciences sociales y sont aussi intégrées notamment pour l'étude de la dynamique des systèmes socio-techniques à grande échelle, comme par exemple les systèmes d'énergie (socio-politique des systèmes d'énergie, l'acceptabilité des nouvelles technologies d'énergie...) Deux exemples de projets passés ou en cours :

- *EnergyCaptCO2* : Projet ANR sur le captage du CO₂ par des techniques membranaires mobilisant les spécialistes de la combustion (ICARE), des procédés et des membranes (LRGP Nancy) avec des industriels (LLT Nantes, Polymem, Toulouse) (2012-2014).
- *ALICANTE* : Projet soutenu par le programme Energie du CNRS portant sur l'acceptabilité sociales des nouvelles technologies d'énergie, notamment le stockage du CO₂, mobilisant les spécialistes de l'énergie (ICARE), de l'économie (LEO) et de la sociologie (VALOREM) (2011-2012).

- **Sciences humaines et sociales** : Les interactions sont au cœur des comportements humains, autant dans leur dimension individuelle que collective. Qu'il s'agisse des dimensions motrice, cognitive, langagière, économique ou sociale, le comportement peut être conçu comme le résultat émergent d'un processus d'auto-organisation, résultant de l'interaction des éléments constitutifs d'un système complexe.⁸ Cette complexité se trouvant à tous les niveaux d'organisation, une vision non complexe, unidimensionnelle et monodisciplinaire peut apparaître relativement pauvre⁹ pour comprendre le comportement humain. L'étude des systèmes complexes dans lesquels interagissent les individus ou groupes d'individus devient un enjeu majeur en Sciences Humaines et Sociales et ne peut se départir d'un véritable travail interdisciplinaire où la rencontre des chercheurs en sciences humaines et fondamentales apparaît comme le gage d'un travail approfondi avec une fertilisation croisée, tant au niveau méthodologique que conceptuel. Quelques projets marquent déjà cette volonté au sein de l'Université d'Orléans.

- *VITAMINES* : Le projet est une collaboration entre mathématiciens et économistes et vise à développer des outils mathématiques et statistiques pour déterminer, le schéma d'interactions entre observations le plus pertinent dans les modèles économétriques et de traitement d'image. Financement par le programme PEPS HuMaIn du CNRS (2013). Porteur : N. Debarsy, LEO UMR 7322 CNRS/Univ. d'Orléans ;
- *DYNAMO* : Ce projet fédère des chercheurs en neurosciences comportementales, mathématiques appliquées, physique, anthropologie et sciences de l'éducation. Le but est de caractériser la dynamique de l'apprentissage moteur et de modéliser son processus d'acquisition et d'optimisation (Projet soumis à l'AAP ANR Défis 2014 et AAP Initiative Académique 2014). Porteur : D. Nourrit-Lucas, MAPMO UMR 4379 CNRS/Univ. d'Orléans ;
- *DIASEMIE* : Ce projet APR-IA 2013-2015 associe des équipes de sciences du langage (LLL, UMR 7270) informatique (LIFO), mathématiques (MAPMO UMR 4379) et traitement du signal (IRAUS et PRISME) autour de la modélisation et du traitement automatique du sens prosodique, autrement dit de la façon dont dans le langage, l'intonation (au sens ordinaire) véhicule une information très fine relative à la fois au rapport des interactants à la situation et à l'interaction elle-même. Porteur : F. Nemo, LLL UMR 7320.

OBJECTIFS ET ACTIONS DE LA MISC

Le principal objectif de la MISC réside dans la mise en œuvre et l'animation d'une plateforme de collaboration ouverte pour tous les chercheurs qui s'intéressent à la modélisation d'observations au sens large et dans le but de stimuler le développement de nouveaux projets interdisciplinaires à différentes échelles géographiques (Région, ANR, Europe). Dans ce contexte, le calcul scientifique au sens large joue un rôle fondamental. La liste des projets variés cités ci-dessus, sans toutefois être exhaustive et exclusive, montre le potentiel d'un tel projet. Voici quelques thématiques qui pourraient être développées :

- Organisation multi-échelle de systèmes complexes.
- Information et interaction dans des systèmes hautement organisés
- Modèles de croissance et systèmes dynamiques
- Modèles de programmation parallèle et/ou distribuée et calcul haute performance
- Fouille de données et apprentissage machine
- Traitement de gros volumes de données (*Big Data*) et visualisation scientifique

La recherche sur les systèmes complexes se base souvent sur des méthodes numériques, ce qui pose le problème de la *reproductibilité* des résultats, qui n'est pas assurée dans les procédés de calcul scientifique d'aujourd'hui. Parmi les cinq grands projets français qui cherchent à améliorer cette situation ("Recherche reproductible"), trois trouvent leur origine à Orléans : RunMyCode (<http://runmycode.org/>) s'associe à des revues scientifiques en économie afin d'encourager les auteurs à déposer leur code et leurs données. La plateforme Exec&Share (<http://execandshare.org>) permet à un auteur de codes de mettre son travail à disposition d'autres utilisateurs sous forme exécutable à partir d'un simple navigateur internet. Ces utilisateurs pourront ainsi répliquer les résultats publiés et/ou appliquer la méthodologie proposée sur leurs propres

8. H. ATLAN. *Le vivant post-génomique ou qu'est-ce l'auto-organisation ?* Odile Jacob, 2011.

9. E. MORIN. *Introduction à la pensée complexe*. Seuil, 2005.

données. ActivePapers (<http://activepapers.org/>) est une technologie qui permet le partage et la publication de données scientifiques de taille importante. Une convergence entre ces approches est envisagée pour l'avenir.

Les actions envisagées de la MISC sont :

- *Animation et diffusion scientifique* :
 - Mise en place de workshops et de séminaires favorisant la communication interdisciplinaire et le positionnement de la Région Centre comme lieu de recherche active sur les systèmes complexes ;
 - Mise en place d'appel à projets destinés à financer des projets interdisciplinaires dont la procédure s'inspirerait de ce qui est pratiqué par la MSH ;
- *Formation* :
 - Mise en place de formations doctorales pour les doctorants de tous les laboratoires de recherches intéressés par la problématique des systèmes complexes ;
 - Formations au calcul scientifique et organisation d'écoles d'été, dans le but d'approfondir les connaissances dans une ou plusieurs thématiques liées aux systèmes complexes ;
 - Aide à la mise en place de co-encadrements de stages et thèses pour faciliter les collaborations interdisciplinaires autour de l'étude des systèmes complexes ;
- *Montage de projets ANR et européens*, qui pourraient être facilités par l'embauche d'un ingénieur.

GOUVERNANCE ET BUDGET

Gouvernance : La MISC est composée d'un comité de pilotage comprenant 12 enseignants-chercheurs/chercheurs :

| Nom | Statut | Etablissement | Laboratoire | Recherche | Fonction |
|-------------------|--------|---------------|-------------|---|-----------|
| Kneller, G. | PU | Orléans | CBM | Biophysique théorique, physique statistique | Référent |
| Duittoz, A. | PU | Tours | PRC | Physiologie de la reproduction | Référente |
| Nourrit-Lucas, D. | MC | Orléans | MAPMO | Neurosciences comportementales | Référente |
| Nemo, F. | PU | Orléans | LLL | Linguistique | |
| Debarys, N. | CR | Orléans | LEO | Économie, économétrie spatiale | |
| Rouet J-L | PU | Orléans | ISTO | Transport réactif dans les milieux poreux, syst. dynamiques | |
| Gökalp, I. | DR | Orléans | ICARE | Sciences de l'Ingénieur, combustion, mécanique des fluides | |
| Cordier, S. | PU | Orléans | MAPMO | Mathématiques | |
| Robert S. | MC | Orléans | LIFO | Informatique, calcul parallèle | |
| Darboux, F. | CR | Orléans | INRA | Etude du ruissellement, de l'érosion, surface des sols | |
| Barles, G. | PU | Tours | LMPT | Mathématiques | |
| Martineau, P. | PU | Tours | LI | Informatique des réseaux | |
| Suppo, C. | PU | Tours | IRBI | Ecologie physique | |

Ce comité de pilotage est accompagné d'un comité scientifique composé de chercheurs de notoriété internationale dans les différentes disciplines représentées.

| Nom | Statut | Etablissement | Laboratoire | Recherche |
|-----------------|--------|----------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Degond P. | PU | Imperial College | Department of Mathematics | Mathématiques Appliquées |
| Delignières, D. | PU | Univ. de Montpellier | EA 2991 Movement_to_health | Neurosciences comportementales |
| Desbat L. | PU | Univ. J. Fourier | GMCAO | Tomographie |
| Galam, S. | DR | SciencesPo Paris | CEVIPROF | Sociophysique |
| Lashkar J. | DR | Obs. de Paris | IMCCE | Astronomie |
| Nadal, J.P. | DR | ENS Paris | Lab. de Physique Statistique | Phys. stat., Théorie de l'information |
| Nominé JP. | DR | CEA | CEA | Calcul haute performance |

Budget : Le budget demandé est de 90k€/an sur 4 ans pour un total de 120k€/an (30k€/an proviendrait d'un cofinancement des Universités d'Orléans et de Tours). La répartition suivante de ces moyens entre les actions est envisagée :

- Animation scientifique (40 k€) : Elle comprendra l'organisation de workshops thématiques biannuels, d'un colloque international, ainsi que l'invitation de chercheurs et la promotion financière de projet ;
- Diffusion (10 k€) : Elle comprendra les frais de mission pour des collaborations de recherches interdisciplinaires et le financement d'ouvrages collectifs et de publications interdisciplinaires ;
- Formation (10 k€) : Elle comptera le soutien pour des écoles d'été annuelles, la formation master et doctorale pour la modélisation, ainsi que la constitution d'une bibliothèque propre au systèmes complexes qui viendra enrichir celle déjà constituée par le PEPS AMISC ;
- Montage de projets (60 k€) : CDD pour l'embauche d'un ingénieur dédié à la recherche et l'élaboration de dossier de réponse à des appels d'offre de projets européens et internationaux.