

# **Convention constitutive du GIS**

## **« Réseau national des systèmes complexes »**

**ENTRE**

**LE CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique

3 Rue Michel-Ange, 75 794 PARIS cedex 16

Représenté par son Directeur Général, Monsieur Bernard LARROUTUROU,

Ci après désigné par “ **CNRS** ”

**Et**

**L’INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE ET DE LA RECHERCHE MEDICALE**

Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique, sis 101 rue de Tolbiac,

75013 Paris, représenté par son Directeur Général, Monsieur Christian BRECHOT

Ci après désigné par “ **INSERM** ”

**Et**

**L’INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE**

Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique, sis 147 rue de l’Université,

75338 Paris Cedex 07, représenté par sa Présidente Directrice Générale, Madame Marion

GUILLOU

Ci après désigné par “ **INRA** ”

ci-après individuellement ou conjointement désignés le ou les Partenaires

**Etant préalablement exposé**

Que la science des systèmes complexes est complémentaire des disciplines qui étudient les systèmes complexes ; elle se développe à partir des questions théoriques qui traversent ces disciplines ; elle correspond à un mouvement profond de ces disciplines qui produit un nombre rapidement croissant de données sophistiquées sur ces systèmes ; la science des systèmes complexes contribue aussi de façon durable à concilier la science avec les besoins sociétaux, parce qu’elle concerne les systèmes complexes qui nous habitent et dans lesquels nous habitons ;

que plusieurs programmes (FET-IST et NEST) du 6<sup>ème</sup> PCRDT ont mis en place une stratégie de recherche et de formation pour développer un réseau de centres d’excellence en Europe et réaliser un espace européen de la recherche pour la science des systèmes complexes<sup>1</sup> ;

---

<sup>1</sup> En particulier, les actions de coordination ONCE-CS (FET) et GIACS (NEST) où les partenaires français sont très actifs.

que les efforts de coordination des partenaires français pourraient être accrus au sein d'un groupement dans le but de favoriser l'émergence d'Instituts régionaux bien reliés à la communauté européenne et internationale qui fait émerger de tels centres d'excellence sur les systèmes complexes, partout dans le monde,

## **IL EST CONVENU CE QUI SUIT :**

Les Partenaires décident de créer, dans les conditions ci-après indiquées, un Groupement d'intérêt scientifique dénommé « Réseau national des systèmes complexes », ci-après désigné par « GIS ».

## **TITRE PREMIER - DOMICILIATION, OBJET**

### **Article 1<sup>er</sup> : Domiciliation**

Le GIS est sis au Centre de recherche en épistémologie appliquée (CREA, UMR 7656 École Polytechnique / CNRS) 1, rue Descartes 75005 PARIS.

Cette domiciliation peut être modifiée par décision de son conseil d'administration.

### **Article 2 : Objet**

L'objet du GIS est de fédérer la communauté française au sein de la communauté européenne de la science des systèmes complexes autour des questions qui les traversent. Il vise :

- à préparer les conditions pour rassembler tous les acteurs institutionnels, économiques qui souhaitent contribuer au développement de la science des systèmes complexes ;
- à conduire ses actions en étroite relation avec les initiatives correspondantes en Europe et dans le monde ;
- à intégrer le réseau des chercheurs français en levant les barrières institutionnelles, disciplinaires et géographiques ;
- à mobiliser les équipes travaillant sur les systèmes complexes.
- à créer les conditions pour que chaque chercheur et chaque centre puissent accéder avec les mêmes chances à un niveau d'excellence, et s'intégrer dans l'espace européen de la recherche (European Research Area – E.R.A.) sur les systèmes complexes.

En particulier, les Partenaires s'appuieront sur les instituts déclinés en région, notamment l'institut rhône-alpin et l'institut Paris Ile-de-France qui fédèrent et animent en Rhône-Alpes et en Île-de-France la recherche sur les systèmes complexes. D'autres instituts régionaux similaires pourront être créés et feront alors l'objet de conventions de création particulières.

L'objet du GIS est détaillé dans l'annexe scientifique faisant partie de la présente convention (annexe 1).

## **TITRE II - ORGANISATION ET DIRECTION**

Le GIS est administré par un conseil d'administration, dirigé par un directeur lui-même assisté par un comité directeur, et conseillé par un conseil scientifique.

## **Article 3 – Conseil d’administration**

### **3.1. Composition**

Le conseil d’administration est composé d’un représentant de chacun des Partenaires.

Le directeur et le président du conseil scientifique du GIS assistent, avec voix consultative, aux réunions du conseil d’administration.

En cas d’empêchement définitif de l’un des membres du conseil d’administration, pour quelque cause que ce soit, il est procédé à son remplacement dans les mêmes conditions.

Le conseil d’administration est présidé par le représentant du CNRS pour la durée de la présente convention.

### **3.2 Rôle**

Le conseil d’administration :

- nomme et révoque le directeur du GIS ;
- nomme les membres du comité directeur sur proposition du directeur du GIS ;
- nomme les membres du Comité scientifique sur proposition du directeur du GIS ;
- adopte le programme d’activité du GIS, sur proposition du directeur du GIS ;
- vote l’état prévisionnel des recettes et des dépenses du GIS qui comprend, d’une part, les charges prévisibles, d’autre part les ressources correspondantes détaillées par organisme financeur ;
- adopte le rapport financier et scientifique annuel d’activité préparé par le directeur du GIS ;
- décide les modifications à apporter à la présente convention, celles-ci étant constatées par des avenants ;
- décide de l’entrée d’un nouveau partenaire au sein du GIS ;
- prévoit les modalités d’évaluation du bilan de l’activité du GIS, préalablement à toute décision concernant son éventuelle reconduction.

### **3.3 Fonctionnement**

Le conseil d’administration se réunit en tant que de besoin et au moins une fois par an, sur convocation de son président qui établit l’ordre du jour.

En plus des réunions formelles prévues à l’alinéa ci-dessus, le président peut consulter les membres du conseil d’administration par tout moyen de télécommunication que ce dernier aura approuvé.

Le président communique le relevé des délibérations du conseil d’administration à chacun des Partenaires.

Le président peut, de sa propre initiative ou à la demande de l’un de ses membres, inviter à participer aux séances du conseil d’administration avec voix consultative toute personne dont l’avis paraît devoir être requis.

Le conseil d'administration se réunit valablement si la majorité de ses membres est présente ou représentée. Nul ne peut être porteur de plus d'un mandat.

Les décisions du conseil d'administration sont prises à la majorité simple des membres présents ou représentés hormis :

- la nomination ou la révocation du directeur du GIS, ainsi que les propositions de modifications apportées à la présente convention y compris sa prorogation, pour lesquelles la majorité des deux tiers des membres présents ou représentés est requise ;
- l'adhésion d'un nouveau partenaire et la résiliation de la convention pour lesquelles la décision doit être prise à l'unanimité.

#### **Article 4 – Directeur et comité directeur**

Le directeur du GIS est nommé par le conseil d'administration pour une durée de quatre ans. Il est révocable à tout moment par le conseil d'administration. Il est assisté par un comité directeur, dont la composition est limitée à trois membres au plus dont le directeur du GIS.

Le directeur du GIS pour la durée de la présente convention est Monsieur Paul BOURGINE.

Le directeur est chargé, avec l'aide du comité directeur, de mettre en oeuvre tous les moyens permettant de réaliser l'objet du GIS. Le directeur, avec son comité directeur :

- coordonne l'activité du GIS conformément aux orientations données par le conseil d'administration ;
- prépare et présente au conseil d'administration, pour approbation, l'état prévisionnel des recettes et des dépenses du GIS ;
- soumet le programme de travail au conseil d'administration, lui rend compte de l'avancement des travaux conduits et propose le rapport financier et scientifique annuel d'activité du GIS ;
- propose au conseil d'administration la représentation du GIS au sein de toute instance nationale ou internationale ayant à traiter de questions relevant des domaines de compétence du GIS ;
- participe, sans voix délibérative, aux réunions du conseil d'administration et à celles du conseil scientifique, qu'il prépare et pour lesquelles il rédige les comptes-rendus ;
- est responsable de l'animation scientifique du GIS ;
- est responsable de l'utilisation optimale des moyens mis à la disposition du GIS et de leur attribution aux différentes activités scientifiques du GIS ;

#### **Article 5 : Conseil scientifique**

##### **5.1 – Composition**

Le conseil scientifique est composé de 15 membres au plus répartis comme suit :

- le directeur de chacun des instituts régionaux des systèmes complexes ou son représentant ;

- des membres nommés par le conseil d'administration, sur proposition du directeur du GIS, en fonction de leurs compétences dans les domaines d'activité du GIS dont un tiers sont des personnalités extérieures aux Partenaires.

Le mandat des membres du conseil scientifique est de quatre ans, renouvelable. En cas de décès, démission ou empêchement devenu définitif pour quelque cause que ce soit, il est procédé au remplacement de la personnalité concernée dans les mêmes conditions, pour la durée du mandat restant à courir.

Le président du conseil d'administration et le directeur du GIS participent, avec voix consultative, aux réunions du conseil scientifique.

Les membres du conseil scientifique choisissent un président en son sein. Son mandat est de quatre ans, renouvelable. Il participe, avec voix consultative, au conseil d'administration du GIS.

## **5.2 – Rôle**

Le conseil scientifique est consulté par le conseil d'administration ou le directeur du GIS sur les actions de toute nature que le GIS souhaite promouvoir. Il assure le suivi des résultats obtenus et propose au conseil d'administration et au directeur du GIS les priorités qu'il souhaite voir retenues.

Le conseil scientifique donne son avis sur le rapport scientifique et financier annuel d'activité établi par le directeur du GIS.

## **5.3 – Fonctionnement**

Le conseil scientifique se réunit en tant que de besoin et au moins une fois par an, sur convocation de son président qui établit l'ordre du jour des réunions. Il peut également se réunir à la demande du conseil d'administration, du directeur du GIS ou de la moitié de ses propres membres.

En plus des réunions formelles prévues à l'alinéa ci-dessus, le président peut consulter les membres du conseil scientifique par tout moyen de télécommunication que celui-ci aura approuvé.

Le conseil scientifique se réunit valablement si la majorité de ses membres est présente ou représentée. Nul ne peut être porteur de plus d'un mandat. Ses avis sont acquis à la majorité simple des membres présents ou représentés.

Des personnalités qualifiées peuvent être appelées à participer aux réunions du conseil scientifique avec voix consultative, soit à l'initiative du président du conseil scientifique soit à la demande de l'un de ses membres.

## **TITRE III - GESTION ET FINANCEMENT**

### **Article 6 : Gestion**

Le CNRS, ci-après désigné par « établissement gestionnaire » gère l'ensemble des moyens financiers du GIS selon les règles qui lui sont applicables.

Pour ce faire, les autres Partenaires accordent au CNRS mandat pour la signature des contrats.

Cependant, avant signature par le CNRS, ces contrats seront communiqués par écrit aux autres Partenaires, qui disposent d'un délai d'un mois pour donner leur avis. Au-delà de ce délai, l'avis est réputé favorable.

Pour les contrats gérés par le **CNRS** et comportant des dépenses de personnel, un prélèvement de 8 % au titre de la constitution d'une provision pour perte d'emploi est opéré sur le montant hors taxes des rémunérations, charges sociales et patronales incluses.

Les sommes devant être payées dans le cadre de la présente convention seront facturées par la Délégation Ile de France Ouest et Nord du CNRS à la signature de la présente convention.

Les factures seront établies en deux exemplaires, elles feront apparaître la TVA, pour le compte

Domiciliation	Code banque	Code guichet	numéro de compte	Clé RIB
RGFIN Paris Nanterre	10 071	92 000	0000 1000 310	36

de l'Agent Comptable secondaire du CNRS – Délégation Ile de France Ouest et Nord – 1, place Aristide Briand, 92195 Meudon CEDEX.

L'établissement gestionnaire agit pour le compte du GIS dans les limites de l'état prévisionnel des recettes et des dépenses approuvé par le conseil d'administration et s'engage à tenir une comptabilité analytique correspondante. Il présente un rapport annuel de gestion devant le conseil d'administration.

#### **Article 7 : Financement**

Les ressources du GIS sont constituées d'une part, par des apports en nature (personnels, locaux, équipement...), d'autre part, par des moyens financiers alloués par les Partenaires, voire des tiers.

Les moyens financiers apportés, y compris les concours du Ministère chargé de la recherche, sont versés à l'agent comptable secondaire du CNRS, Délégation Ile de France Ouest et Nord.

Des financements complémentaires peuvent être recherchés auprès de tiers. Les contrats ou conventions conclus à cet effet sont signés par le directeur général du CNRS et par délégation, la déléguée régionale Ile de France Ouest et Nord, CNRS, 1 place Aristide Briand, 92190 Meudon.

### **TITRE IV - PROPRIETE INTELLECTUELLE**

#### **Article 8 : Communication d'informations et publications**

Chacun des Partenaires s'engage à communiquer aux autres toutes les informations nécessaires à l'objet du GIS dans la mesure où il peut le faire librement, au regard notamment des engagements qu'il pourrait avoir contractés antérieurement avec des tiers.

Chacun des Partenaires s'interdit de diffuser ou de communiquer à des tiers des informations qui lui auront été désignées comme confidentielles par le Partenaire dont elles proviennent.

Les publications et communications des études accomplies dans le cadre du GIS devront mentionner la participation de chacun des auteurs des travaux et leurs liens avec les Partenaires du GIS.

Sur demande d'un ou plusieurs des signataires, la divulgation d'éléments de tels travaux, considérés comme confidentiels, sera retardée d'un délai qui ne pourra être supérieur à douze mois ; cette clause de confidentialité n'est pas opposable aux instances nationales d'évaluation dont relèvent les auteurs.

### **Article 9 : Protection et exploitation des résultats**

Les connaissances brevetables ou non, antérieures à la signature de la convention constitutive du GIS, restent la propriété du Partenaire dont elles émanent.

Les résultats des travaux accomplis dans le cadre du GIS ou en dehors de celui-ci restent la propriété pleine et entière du Partenaire signataire qui les a obtenus.

En cas d'obtention commune dans le cadre du GIS, les Partenaires impliqués sont copropriétaires des résultats des travaux développés à hauteur de leurs apports respectifs. Des conventions particulières entre les Partenaires co-propriétaires préciseront les règles relatives à la protection et l'exploitation de ces résultats.

Chaque Partenaire s'engage à mettre ces résultats à la disposition des autres Partenaires, qui pourront les utiliser librement pour leurs besoins de recherche, à l'exclusion de toute exploitation commerciale.

Les Partenaires restent tenus par les obligations relatives à la confidentialité et à l'exploitation des résultats, nonobstant l'échéance ou la résiliation de la présente convention.

## **TITRE V - DISPOSITIONS DIVERSES**

### **Article 10 : Durée**

La présente convention est conclue pour une durée de quatre ans à compter de la date de sa signature par l'ensemble des Partenaires. Elle est renouvelée par voie d'avenant.

La présente convention peut être résiliée à tout moment, par décision du conseil d'administration du GIS selon les modalités prévues à l'article 3.3.

### **Article 11 – Adhésion – Retrait**

#### **11.1 – Adhésion**

Le GIS peut être étendu à d'autres Partenaires par voie d'avenant. Tout organisme souhaitant rejoindre le GIS doit en faire la demande auprès du conseil d'administration, qui se prononce selon les modalités prévues à l'article 3.3.

## 11.2 Retrait

Tout Partenaire peut se retirer, sous réserve d'observer un préavis de six mois. Il informe le directeur du GIS de sa décision, par lettre recommandée avec accusé de réception, dont la réception fait courir le délai précité.

### Article 12 – Différends éventuels

En cas de différend entre les signataires, à l'occasion de l'interprétation ou de l'exécution de la présente convention, les signataires se concerteront en vue de parvenir à une solution amiable. S'il est besoin, le conseil d'administration se prononcera sur le règlement du différend.

En cas de désaccords persistants, le différend sera porté devant les tribunaux compétents.

Fait à PARIS le 02 NOV. 2005 en 3 exemplaires

**POUR LE CNRS**

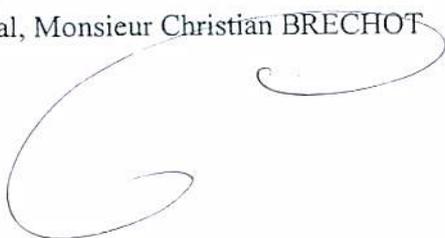
son Directeur Général, Monsieur Bernard LARROUTUROU,



---

**POUR L'INSERM**

son Directeur Général, Monsieur Christian BRECHOT



---

**POUR L'INRA**

sa Présidente Directrice Générale, Madame Marion GUILLOU



# Annexe 1

## Annexe Scientifique

### **Introduction : Vers une science des systèmes complexes**

Les systèmes complexes, comme réseau d'entités en interaction, font l'objet de corpus de données rapidement croissants dans tous les domaines. Ils sont en même temps source de questions théoriques nouvelles et fondamentales. Cette situation semble particulièrement opportune pour développer une science des systèmes complexes.

Les systèmes complexes peuvent être soumis à deux types de démarches interdisciplinaires. La première consiste à se donner un objet de recherche intrinsèquement multidisciplinaire et conduit à poser des questions sur un même objet à partir de différents points de vue. *La seconde consiste à étudier une même question à propos d'objets de recherche différents. C'est cette seconde démarche qui relève d'une science des systèmes complexes.* Les deux démarches sont 'duales' l'une de l'autre et se renforcent mutuellement.

La science des systèmes complexes se développera dans un jeu sans cesse renouvelé de *reconstruction* des données par les modèles dans *une interaction permanente entre les deux types de démarches interdisciplinaires.* La reconstruction des dynamiques des systèmes complexes pose un grand défi à la science moderne, rendu possible par la croissance des données et la puissance croissante des outils de traitement de l'information.

La science des systèmes complexes est orthogonale aux disciplines et inter-disciplines qui étudient les systèmes complexes. Elle se développe à partir des questions théoriques qui les traversent. Elle correspond à un mouvement profond de la science moderne qui produit un nombre rapidement croissant de données sophistiquées sur ces systèmes. Parce qu'elle concerne les systèmes complexes qui nous habitent et dans lesquels nous habitons, la science des systèmes complexes contribue aussi de façon durable à concilier la science avec les besoins sociétaux.

### ***Les systèmes complexes comme grands réseaux d'entités en interaction***

Les systèmes complexes sont des systèmes présentant un *grand nombre d'entités différenciées, interagissant de manière complexe: interactions non-linéaires, boucles de rétroaction, mémoire des interactions passées.* Ils se caractérisent par l'émergence au niveau global de propriétés nouvelles non observables au niveau des entités constitutives. Le niveau local fait émerger des formes organisées au niveau global, lequel influence en retour le niveau local. Interactions locales et interactions globales peuvent ainsi se conjuguer dans la description de leurs dynamiques. Ils présentent ainsi un comportement holistique qui rend vaine toute tentative d'explication par le seul comportement des parties.

En s'élevant dans les niveaux d'organisation, les entités composant les systèmes complexes deviennent elles-mêmes de plus en plus complexes. Alors qu'en physique les entités élémentaires sont relativement simples et homogènes, cela n'est plus le cas en biologie lorsque les entités de base sont des protéines interagissant dans des réseaux macromoléculaires, des cellules interagissant au sein d'un être multicellulaire, des êtres vivants interagissant dans des réseaux écologiques. A fortiori, dans les sciences humaines et sociales, les entités sont des agents hautement sophistiqués, dotés de capacités cognitives, de représentations, d'intentions, capables de développer des comportements stratégiques prenant en compte, de manière croisée, les stratégies des autres.

Structurés sur plusieurs niveaux d'organisation, composés d'entités hétérogènes elles-mêmes complexes, les systèmes complexes recouvrent aussi bien les systèmes naturels de la cellule jusqu'à l'écosphère que les *systèmes artificiels sophistiqués dont l'homme s'entoure et qui s'inspirent de plus en plus des systèmes naturels.*

### ***La modélisation des systèmes complexes comme 'reconstruction'***

La compréhension des systèmes complexes passe par leur modélisation. Leurs modèles sont doublement contraints par les règles habituelles de la science : ils doivent fournir une *reconstruction* des données observées tout en étant aussi parcimonieux que possible. Cette reconstruction pose elle-même des problèmes difficiles, dits 'inverses' : étant donné un corpus phénoménologique, quelles modélisations des entités et des interactions sont compatibles avec ce corpus ? parmi les modélisations 'compatibles', quelles sont les plus 'simples' ? Ces problèmes inverses se compliquent encore si les reconstructions et les modélisations

associées impliquent plus d'un niveau d'émergence. Cette complication culmine avec les modèles en sciences humaines et sociales où les agents modélisent eux-mêmes le système dans lequel ils sont inclus.

Avec la masse rapidement croissante de données toujours plus sophistiquées, ces processus de reconstruction tendent à former une large classe de problèmes inverses, partagée par l'ensemble des disciplines.

### *L'ingénierie des systèmes complexes*

Les interventions humaines dans les systèmes complexes produisent trop souvent des effets contre-productifs contraires aux intentions mêmes dont elles procèdent. Elles sont fortement dépendantes de la manière dont les hommes modélisent les systèmes complexes. L'ingénierie des systèmes complexes renvoie ainsi à cette première classe de problèmes inverses qu'est leur modélisation et leur reconstruction. Mais elle renvoie de plus à une nouvelle classe de problèmes difficiles : il s'agit de trouver, dans les actions possibles, celles dont les conséquences sont les plus souhaitables, ou, plus qualitativement, viables sur une certaine durée. Il s'agit là encore d'une large classe de problèmes inverses posant des questions classiques de contrôle global (agissant sur les interactions globales), mais aussi des questions nouvelles de contrôle distribué (agissant sur les interactions locales). Toutes ces questions prennent encore des ordres supérieurs de difficulté, lorsque l'ingénierie porte sur plusieurs niveaux d'organisation, c'est-à-dire le contrôle de systèmes de systèmes.

La classe des problèmes inverses posés par l'ingénierie des systèmes complexes tend à former une même classe partagée par l'ensemble des disciplines, qu'elles portent sur les systèmes naturels ou sur les systèmes artificiels dont ils s'inspirent.

### *Positionnement historique et international*

Les premières approches théoriques de modélisation des systèmes complexes remontent aux années 40 avec les automates auto-reproducteurs de Von Neumann, les réseaux de neurones formels de McCullochs et Pitt. Au cours des années 60 et 70, les mathématiques de la morphogénèse de René Thom, la thermodynamique des systèmes hors d'équilibre de Prigogine, la synergetique de Haken, les méthodes de mécanique statistique d'Anderson et de Wilson ont permis de nouvelles compréhensions des systèmes auto-organisés. Parallèlement, la modélisation 'qualitative' des systèmes naturels comme systèmes complexes progressait en biologie avec le bricolage des réseaux macromoléculaires de la cellule (François Jacob), les paysages épigénétiques pour la morphogénèse des êtres multicellulaires (Waddington) et dans, les sciences sociales, avec l'économie évolutionniste de Schumpeter et l'économie cognitive d'Hayek et de Simon. Les sciences de la conception, comme science des systèmes artificiels, prenaient aussi leur essor à partir du texte fondateur du même Herbert Simon.

La science des systèmes complexes peut ainsi prendre appui sur le socle des avancées théoriques et modélisatrices du siècle passé. Ces avancées d'un côté, la masse grandissante des données sur les phénomènes émergents de l'autre, conduisent à se poser un ensemble sans cesse renouvelé de questions. Il reste beaucoup à faire pour leur donner des réponses pertinentes et théoriquement élégantes. Les sciences physiques se sont développées dans un effort permanent de création de concepts théoriques pour reconstruire les données issues de leurs protocoles expérimentaux. La démarche à propos des systèmes complexes est fondamentalement la même. Mais il s'agit cette fois d'un effort scientifique collectif à grande échelle, en raison de la grande diversité des systèmes complexes et de la difficulté des questions qui se posent. Ce n'est pas le moindre des défis qui attendent la science des systèmes complexes.

Cet effort collectif à grande échelle a commencé à se développer au niveau international. L'institut de Santa Fe aux USA, l'institut Solvay à Bruxelles ont ouvert la voie dans les décennies précédentes et un mouvement important de créations de centres d'excellence sur les systèmes complexes est en train de se dessiner en France, en Europe et dans le monde. La communauté européenne développe des efforts pour financer des actions sur les systèmes complexes dans ses programmes IST-FET et NEST-Pathfinder. Des actions de coordination, comme celles du projet Exystence, ont été soutenues et d'autres se préparent. Un ERA-Net, destiné à la coordination des organismes européens qui financent des programmes de recherche sur les systèmes complexes est en préparation.

Cet effort collectif à grande échelle suppose aussi de prendre en compte un certain nombre d'objectifs :

- d'identifier les questions posées par la science des systèmes complexes,
- d'identifier et de fédérer la communauté de chercheurs concernés,
- d'intégrer le réseau français dans la communauté européenne et internationale
- d'aider le développement et la création de centres régionaux et de laboratoires
- de lever les barrières disciplinaires, géographiques et institutionnelles
- de former des générations d'étudiants et de chercheurs

Cette annexe vise à discuter de l'ensemble de ces objectifs et des moyens de les réaliser à travers :

- **une structure nationale, sous forme d'un GIS, désigné dans toute la suite comme le réseau national des systèmes complexes**, pour fédérer, coordonner et évaluer toutes les initiatives relatives à la science des systèmes complexes,
- des structures administratives et un soutien stable pour les instituts régionaux existants et une aide à la création de nouveaux instituts,
- des incitations particulières pour créer et développer des laboratoires et des équipes pérennes pour capitaliser les compétences et la connaissance sur les systèmes complexes.

## I. Un Réseau national des systèmes complexes

Le réseau national des systèmes complexes devrait être *un réseau sans mur*, permettant de rassembler tous les acteurs institutionnels qui souhaitent contribuer au développement de la science des systèmes complexes : *ministères, grands organismes de recherche, Conférence des Universités et la Conférence des Grandes Ecoles*. Il vise à intégrer le réseau des chercheurs français, en levant les barrières *institutionnelles* par son statut même, les barrières *disciplinaires* par une stratégie de cours libres de haut niveau et les barrières *géographiques* par de nouveaux moyens de travail collaboratif autour d'un portail interactif. Il vise à créer les conditions pour que chaque chercheur et chaque centre puisse accéder avec les *mêmes chances* à un niveau d'excellence, et s'intégrer dans l'espace européen de la recherche. Toutes ses actions seront conduites en étroite collaboration avec les initiatives analogues dans le monde, à commencer par celles qui peuvent être soutenues par la Commission européenne. En outre, le réseau national des systèmes complexes pourrait être l'interlocuteur unique pour la France pour la création de l'Espace européen de recherche (European Research Area – E.R.A.) sur les systèmes complexes, en particulier lors de la mise en place de réseaux E.R.A.

### I.1. Identifier les questions

Pour comprendre l'évolution des systèmes complexes, il faut en modéliser les dynamiques à différentes échelles spatio-temporelles. Cette reconstruction des dynamiques passe par trois étapes :

- la sélection des faits à reconstruire et leur extraction des bases de données ;
- la sélection de modèles dynamiques théoriques qui reconstruisent ces faits ;
- l'étude, théorique ou par simulation, de ces modèles.

Il y a ainsi trois séries de questions en fonction de cette démarche générale, de nature épistémologique : les questions théoriques ; les questions liées aux données ; les questions liées à la simulation. Ces trois séries de questions traversent l'ensemble des systèmes complexes. La reconstruction des dynamiques est un problème inverse difficile. Elle concerne aussi bien les systèmes naturels que les systèmes artificiels de plus en plus sophistiqués que nous concevons. Cette démarche épistémologique de reconstruction a conduit aux succès de la physique au cours des siècles passés. Il s'agit de créer les conditions générales pour que la même démarche puisse être féconde pour les systèmes complexes.

En partant des modèles ainsi reconstruits, l'ingénierie des systèmes complexes, aussi bien en matière de gouvernance que de conception, pose une nouvelle série de questions et de problèmes inverses plus redoutables encore par leurs difficultés comme par leurs conséquences sociétales.

*Une liste structurée autour de ces quatre familles de questions est donnée en appendice mais ce document n'a pas pour but de fixer une telle liste. C'est un rôle essentiel du comité de groupement et du conseil scientifique que de la constituer et d'être attentif à son évolution sous l'effet du travail accumulé. Une telle liste pourrait prendre la forme d'un 'agenda' des problèmes ouverts et des questions en cours. La création d'un tel agenda devrait être entrepris et révisé en collaboration avec les programmes de recherche sur la science des systèmes complexes en Europe et dans le monde. Cet agenda servirait à la sélection de thèmes soumis à appels d'offre nationaux, en fonction des intérêts et des compétences propres à notre pays. Ces appels d'offre pourraient aussi être élargis à d'autres pays à l'aide des instruments ERA-Net.*

Les projets issus d'un appel d'offre seront soumis au conseil scientifique et attribués par le conseil de gestion. Les projets pourraient partir d'une question traversant plusieurs disciplines et de faits stylisés correspondants, qu'il s'agit de reconstruire. Les projets pourraient aussi viser des plateformes générales pour la mise en œuvre des projets de reconstruction. Il s'agit de rendre accessible aux scientifiques de toutes les disciplines la constitution de bases de données, leurs annotations, l'extraction de faits stylisés, la spécification de théories et de modèles et, finalement, leur simulation. Cette accessibilité pour chacun suppose la mise en place systématique de cours libres, disponibles en ligne sur la manière d'utiliser ces plateformes (cf I.2)

*Actions :*

- *un agenda des problèmes ouverts et des questions en cours*
- *projets d'appels d'offre pour la résolution de questions traversant les systèmes complexes*

## **I.2. Identifier le réseau des chercheurs et l'intégrer dans la société nationale et la communauté internationale.**

La communauté de la science des systèmes complexes est dispersée disciplinairement, géographiquement et institutionnellement. Un objectif majeur du réseau national est non seulement d'identifier la communauté des chercheurs concernés mais aussi de favoriser sa structuration en un réseau bien connecté. L'intégration ne porte pas seulement sur sa structure interne mais aussi sur ses relations avec la communauté internationale de la science des systèmes complexes et avec les acteurs économiques, sociaux et politiques.

L'identification des chercheurs concernés se fera à l'aide d'une large enquête à partir du noyau contacté à l'occasion du colloque de prospective des 11 et 12 février au CNRS. Cette enquête fournira l'*annuaire de départ* des chercheurs impliqués dans la science des systèmes complexes. Cet annuaire contiendra une définition de leurs compétences et différents éléments décrivant leurs interactions, comme les publications communes. Ce contenu sera discuté avec d'autres initiatives allant dans le même sens en France. L'annuaire constamment mise à jour et combinée avec une *enquête similaire au niveau européen* permettra aux chercheurs de trouver:

- des correspondants pour des groupes de réflexion sur des sujets chauds,
- des partenariats de toutes sortes au niveau régional, national et européen.

Cette base permettra en outre une étude dynamique du *réseau des chercheurs* et du *réseau sémantique* des concepts abordés. Cette étude sera en permanence disponible au niveau de la communauté. Chaque chercheur pourra ainsi mieux se situer et apprécier les nouvelles directions de travail en résonance avec le reste de la communauté et les besoins sociétaux.

L'identification de la communauté concernée se fera à travers de *grandes conférences européennes annuelles* dont la première aura lieu à Paris en 2005. Il s'agit en effet de mettre en relation très rapidement les chercheurs en sciences de la complexité non seulement entre eux mais aussi avec les acteurs de la société, intéressés par la modélisation des systèmes complexes et leur gouvernance. Des ateliers de travail seront prévus à cet effet. Cette initiative sera menée dans le cadre de l'action correspondante soutenue par la communauté européenne et sera poursuivie dans le cadre de l'ECSS (European Complex System Society) qui est en cours de création.

Une stratégie cohérente pour lever les *barrières disciplinaires* est une nécessité dans une communauté qui comprendra un grand nombre de disciplines. Le partage des savoirs se fera à l'aide d'Introductions avancées. *Une Introduction avancée consiste en une présentation des concepts majeurs, des principaux résultats obtenus et des questions ouvertes d'un champ disciplinaire.* Elle s'adresse avant tout à un public extérieur à la discipline concernée. Pour ceux qui ne pourraient pas y assister directement, les Introductions avancées seront disponibles en cours libre sur Internet. Cette stratégie pour lever les barrières disciplinaires sera développée en coordination avec l'opération européenne analogue.

En matière de formation, une autre stratégie 'orthogonale' à la précédente doit être mise en place. Les 'Introductions avancées' ont pour but de lever les barrières disciplinaires et non pas d'apporter un contenu technique précis sur les avancées les plus récentes. Des 'Cours avancés' comme ceux qui sont dispensés dans les formations doctorales sont nécessaires pour mener le plus grand nombre d'étudiants à un niveau d'excellence. Actuellement de tels cours, très spécialisés, sont souvent dispensés à un très petit nombre d'étudiants. Il s'agit de donner à une sélection de ces cours une audience régionale, nationale ou internationale. Là encore, cette stratégie de formation sera développée en liaison avec l'opération européenne déjà programmée, avec comme finalité de donner à l'Europe un rôle de pionnier pour les sciences de la complexité et de préparer les conditions pour une formation doctorale européenne

Pour exercer son rôle d'intégration du réseau des chercheurs français, le réseau national créera un *portail interactif*, piloté par la communauté en fonction de ses besoins. Le portail doit devenir le lieu privilégié où tout membre de la communauté peut obtenir non seulement l'accès à tous les *contenus libres* (données et annotations, cours introductifs et cours avancés, problèmes ouverts et questions en cours, articles et simulations,...) mais aussi à *tous les outils pour créer ces contenus libres*. Ces outils doivent être simples d'emploi (en fonction des compétences de la communauté concernée) et des tutoriaux doivent être disponibles pour faciliter leurs apprentissages et leurs usages avancés. La construction du portail sera d'emblée réalisée avec l'opération européenne correspondante pour permettre l'intégration de la communauté française au sein de la communauté européenne et au delà.

La communauté des systèmes complexes est particulièrement candidate, en raison des conditions mêmes de ses ambitions transdisciplinaires, pour s'engager dans la voie *de nouveaux moyens de travail collaboratif*. Toutes les opérations précédentes supposent du travail collaboratif multiforme entre des chercheurs qui se considèrent entre eux comme des pairs. Leurs réalisations posent de manière systématique la question du 'workflow' : comment éviter que le retard d'un maillon dans la chaîne de travail ne viennent perturber de façon grave le travail collectif au risque même de le faire échouer ? Il s'agit d'inventer de nouveaux moyens de travail collaboratif permettant à chacun un gain d'efficacité et apportant à chacun la garantie que son travail ne va pas être dépensé en pure perte et mènera bien au résultat collectif escompté. La communauté des systèmes complexes peut en outre faire de ces nouveaux moyens collaboratifs un thème d'étude scientifique qu'elle pourrait partager avec les acteurs sociaux intéressés. Cette approche sera également partagée à l'échelle européenne.

*Actions proposées pour l'identification de la communauté et son intégration :*

- *développement d'un annuaire du réseau*
- *larges conférences impliquant les acteurs de la société*
- *cours libres (Introductions avancées et Cours avancés)*
- *création d'un portail interactif, piloté par la communauté*
- *mise en place de nouveaux moyens de travail collaboratif.*

## **II. Des Instituts des systèmes complexes**

Un réseau national des systèmes complexes<sup>2</sup> permet de rassembler, dans une région, toutes les institutions publiques ou privées qui souhaitent contribuer au développement de la science des systèmes complexes : Instituts de recherche, Universités, Grandes écoles, laboratoires, entreprises, etc. Ces partenaires bénéficieront en retour des résultats et des compétences acquises au sein du réseau national.

Des Instituts existent déjà, regroupant des chercheurs de sciences biologiques, humaines et sociales ainsi que des sciences mathématiques, physiques et informatiques. Ils se sont constitués pour coordonner des initiatives sur les systèmes complexes. Il s'agit des Instituts de Paris et de Lyon. Ils visent à devenir des *pôles d'excellence transversaux*, travaillant sur les questions qui traversent les systèmes complexes.

D'autres *pôles d'excellence*, désignés dans ce document comme '*verticaux*', souhaitent utiliser l'approche des systèmes complexes pour aborder leur objet d'étude de manière interdisciplinaire. C'est le cas, par exemple, de l'Institut d'épigénétique d'Evry, de l'IRI de Lille (Institut de recherche interdisciplinaire), Institut d'ingénierie pour le vivant de Grenoble, l'Institut de sciences cognitives de Lyon, le RISC de sciences cognitives, le GDR Libergéo. Les Instituts entretiendront un partenariat très étroit avec de tels pôles d'excellence verticaux en raison de la complémentarité qui relie les objets d'études et les questions.

A la différence du réseau national des systèmes complexes, les Instituts mettent effectivement à l'étude des questions et coordonnent des recherches pour leur trouver des réponses. Mais ils héritent des mêmes missions que celles du réseau national :

- sélectionner des questions sur le front avancé des sciences, traversant les systèmes complexes ;
- identifier et intégrer la communauté régionale en charge de les étudier, en usant des types d'actions déjà décrits.

---

<sup>2</sup> Chaque fois que cela ne prête pas à confusion, les 'Instituts des systèmes complexes' sont qualifiés dans la suite du document par le vocable 'Instituts'.

Le fonctionnement des Instituts s'inspire d'*expériences exemplaires mais de nature bien différente*, comme celle de l'Institut Henri Poincaré, de certains Instituts Max Planck, de l'Institut de Santa Fe. Ces Instituts devraient être des structures légères avec un conseil d'administration (pour décider des grandes orientations), un conseil scientifique (pour conseiller a priori et évaluer a posteriori ces orientations) et un comité de direction (pour piloter et coordonner les initiatives). En raison de ses missions et à l'image des Instituts dont ils s'inspirent, les *Instituts des systèmes complexes ne peuvent pas être sans murs*.

## **II.1. Mise à l'étude de questions**

La sélection des questions au niveau d'un Institut dépend des compétences plus spécifiques de sa région au sein de la science des systèmes complexes. Elle dépend aussi des besoins des acteurs sociétaux impliqués dans l'Institut.

Il s'agit de questions nouvelles, ouvertes, que seul un regroupement interdisciplinaire en provenance de plusieurs laboratoires/instituts peut prendre en charge. La mise à l'étude de ces questions suppose ainsi la participation à temps partiel d'un certain nombre de seniors en provenance des partenaires de l'Institut. Cette participation devrait être accompagnée par celle de doctorants et de post-doctorants. Cette étude ne dure qu'un temps limité, entre deux et quatre ans. A la fin de l'étude, les retombées, en terme de résultats acquis et de compétences nouvelles, retournent aux partenaires qui l'ont soutenue.

Typiquement, l'étude d'une question ouverte peut démarrer avec un atelier d'une semaine réunissant les principaux acteurs. Un ou plusieurs Instituts '*thématiques*' peuvent suivre : *un Institut thématique porte sur une période longue (pendant un trimestre, par exemple) avec invitation de chercheurs étrangers de haut niveau*. De tels Instituts thématiques existent aujourd'hui à de nombreux endroits dans le monde, comme à l'Institut Henri Poincaré ou dans les Instituts Max Planck. D'autres ateliers peuvent avoir lieu pour étudier un problème relatif à la question, pour préparer un livre collectif, faire des articles à plusieurs, etc.

## **II.2. Identifier et intégrer la communauté régionale concernée**

Un Institut des systèmes complexes est aussi le lieu où se déroulent non seulement des Instituts thématiques mais aussi l'ensemble des actions de formation comme les introductions avancées et les cours avancés. Des séminaires peuvent aussi être proposés pour faire le point sur des résultats importants et récents, dans l'esprit des séminaires Bourbaki. Pour tous ces événements, il s'agit de garder une trace pour ceux qui n'ont pas pu les suivre directement. Ces traces peuvent ainsi bénéficier aux générations suivantes d'étudiants et être disponibles en tant que '*cours libres*'. Cela suppose une *plateforme multimédia* comprenant une chaîne de traitement informatique standard, qui est un enjeu majeur pour le portail interactif de l'ensemble de la communauté.

Une telle plateforme multimédia est aussi essentielle pour qu'un événement puisse être diffusé dans plusieurs Instituts simultanément. Il s'agirait d'une diffusion interactive où les participants pourraient intervenir à distance. Une telle possibilité peut s'étendre au delà des frontières et a été déjà programmée à l'échelle de l'Europe, un jour fixe de chaque semaine.

## **II.3. Relations des Instituts avec le réseau national**

La mission générale du réseau national est d'identifier les questions et d'intégrer la communauté des systèmes complexes. Il aide les Instituts existants et favorise la création de nouveaux Instituts en organisant des ateliers nationaux de travail avec des acteurs sociétaux. Il peut aider à la préparation de dossiers auprès des collectivités locales et régionales.

En retour, les Instituts sont essentiels pour la mise en œuvre du programme de recherche sur les systèmes complexes : renouveler la liste des questions ouvertes, pour mettre à l'épreuve les diverses plateformes, pour un retour d'expérience sur les cours et les différents types d'événements.

## **II.4. Relations avec les pôles d'excellence verticaux**

Comme on l'a vu dans l'introduction, il y a deux grandes façons de faire de l'interdiscipline : soit en partant des questions qui traversent les systèmes complexes ; soit en partant d'un objet d'étude intrinsèquement pluridisciplinaire. Comme exemple d'objets intrinsèquement pluridisciplinaires, on peut citer la cognition mais aussi la cellule, l'organisme multicellulaire, la ville et les systèmes de villes et la liste pourrait s'allonger avec la plupart des systèmes adaptatifs complexes qui nous entourent.

Ces deux types d'interdiscipline sont orthogonaux entre eux, de sorte qu'au lieu de se gêner ils se renforcent mutuellement par complémentarité : tout progrès dans l'une des disciplines renforce l'autre. Cette complémentarité est durable, aussi longtemps que notre compréhension des systèmes adaptatifs complexes restera incomplète et continuera à poser des questions difficiles.

Cette complémentarité durable est probablement un argument essentiel pour la mise en place d'un réseau des systèmes complexes orthogonal à celui des Pôles d'excellence verticaux. Pour ne citer que des pôles émergents, les Instituts des Systèmes Complexes de Paris et de Lyon relèvent de la première approche, alors que l'Institut d'épigénomique d'Evry ou l'IRI de Lille relèvent de la deuxième approche. Les seconds font remonter vers les premiers les questions difficiles rencontrées en chemin à mesure que les données relatives aux systèmes complexes étudiés font des sauts qualitatifs. Les premiers non seulement contribuent à la résolution des questions mais encore à la formation de chercheurs qui retournent vers les seconds.

On peut s'attendre à ce qu'un nombre croissant de pôles d'excellence verticaux, engagés dans une acquisition massive des données, soient toujours davantage intéressés par l'approche des systèmes complexes.

Il est indispensable que des représentants des pôles d'excellence verticaux se retrouvent au sein du comité de direction des Instituts. Il faut encourager certaines initiatives exemplaires entre les deux types de pôles d'excellence correspondant aux deux types d'interdisciplinarité.

## **II.5. Relations avec les établissements industriels**

Les entreprises à fort pouvoir innovant se trouvent confrontées à deux problèmes majeurs : la conception de produits de plus en plus complexes respectant un cahier des charges de plus en plus draconien ; l'impossibilité de développer des équipes de recherche à un niveau d'excellence et à long terme, couvrant la pluridisciplinarité requise par les contraintes sociétales modernes. Ce constat semble se généraliser dans un grand nombre de branches : entreprises liées au vivant comme les industries pharmaceutiques, liées au transport dont l'avionique, à l'armement, aux télécommunications.

Il y a ainsi la place pour qu'un Institut joue régionalement un rôle d'intermédiation à long terme entre ces entreprises innovantes et un groupe multidisciplinaire de laboratoires, distribués certes sur la région mais aussi bien au-delà. A la condition cruciale que le noyau de la coalition ainsi formée soit stable à long terme, celle-ci représente une alternative non seulement crédible à une recherche de haut niveau interne à l'entreprise, mais aussi beaucoup souple dans un monde rapidement changeant.

Un telle voie s'applique à des entreprises innovantes aussi bien grandes que moyennes. Elle est clairement compatible avec la création de start-up par des chercheurs avec le soutien des grandes entreprises innovantes.

## **II.5 Relations avec les collectivités régionales**

L'intérêt des collectivités locales et régionales pour de tels Instituts est double : d'une part, elles ont un souci permanent de favoriser l'essor de l'emploi dans leur aire et d'autre part, elles ont à gérer toutes sortes de questions complexes liés au social et à l'aménagement de leur territoire.

Les Instituts peuvent apporter, comme on l'a vu ci-dessus, une aide véritable pour structurer les liens entre les établissements d'enseignement et de recherche et les technopoles existantes et à créer, source d'emploi à haute valeur ajoutée.

Les Instituts peuvent aussi, comme pour les entreprises, faire une intermédiation pour créer des regroupements multidisciplinaires durables de laboratoires au service des questions difficiles posées aux collectivités territoriales.

L'intérêt mutuel entre les collectivités régionales et les Instituts peut être suffisamment fort pour qu'un financement important et durable de ces collectivités publiques puisse intervenir très tôt dans le processus.

## **II.6. Relations avec les établissements d'enseignement/recherche**

Les relations entre les Instituts et les établissements d'enseignement/recherche est cruciale. On a vu en effet que les Instituts développaient des recherches sur des questions transversales aux systèmes complexes mais pendant un temps limité. Cela permet de rester à la pointe de l'innovation en matière scientifique. Mais cela ne permet pas de capitaliser les expertises et les compétences ainsi créées ou renouvelées. Le lieu privilégié où se concentre sur une longue période l'expertise liée aux objets de recherche reste les laboratoires disciplinaires comme multidisciplinaires. On a déjà remarqué qu'il y a non pas opposition mais

complémentarité entre le type de recherche des Instituts (sur les questions) et celui que peuvent développer les laboratoires y compris multidisciplinaires.

Après un passage au sein des Instituts, bien des opportunités peuvent s'offrir aux chercheurs pour retourner dans leur discipline ou en changer ou encore pour lancer une start-up. Mais, malgré ou grâce à ces mouvements de chercheurs, les laboratoires continuent leur trajectoire lourde, accumulant l'expertise sur le long terme.

Les Instituts auront simplement servi au passage à catalyser l'évolution dans certaines disciplines et surtout à créer un réseau de relations fortes entre des chercheurs de disciplines différentes et fortement reliés avec les entreprises environnantes et les collectivités régionales.

On peut s'attendre à ce que les intérêts mutuels entre les établissements d'enseignement/recherche et les Instituts permettent un financement partiel et indirect de ces derniers (locaux, grands moyens de calcul, studio d'enregistrement de cours et de conférences, etc.).

### **III. Des laboratoires 'systèmes complexes'**

Les Instituts n'accumulent pas les compétences puisqu'ils n'accumulent pas de personnel. C'est un lieu où se rencontrent des chercheurs autour des questions difficiles qu'ils se posent sur les systèmes complexes. Au sein de ces chercheurs, un certain nombre auront le goût et les qualités requises pour continuer leur recherche dans la science des systèmes complexes autour des questions non encore résolues.

Il serait regrettable que ces chercheurs, quelle que soit leur nationalité, ne trouvent pas un lieu d'accueil dans notre pays. La science des systèmes complexes, telle qu'elle est définie dans ce document, est probablement cruciale pour ce siècle, non seulement pour la science mais aussi pour toutes ses implications en ingénierie.

On peut s'attendre à ce que cette ingénierie fasse l'objet d'une demande croissante de la part des partenaires des Instituts. Il serait alors dommage que ceux-ci ne suffisent plus à assurer leur mission d'intermédiation et que des partenaires potentiels aillent chercher ailleurs qu'en France les collaborations qui leur sont nécessaires.

Pour toutes ces raisons, des structures permanentes de recherche sont nécessaires, sous la forme de *laboratoires 'systèmes complexes'* (ou encore d'équipes 'systèmes complexes' au sein de laboratoires). Il est souhaitable d'inciter des établissements d'enseignement et de recherche à prendre le relais des Instituts, en créant en leur sein de telles structures permanentes. Il ne s'agirait pas nécessairement de gros laboratoires mais de regroupements de chercheurs qui acceptent aujourd'hui de s'associer et qui peuvent croître régulièrement. Des partenaires potentiels y trouveraient des compétences en modélisation, susceptibles d'apporter, *de manière durable et contractuelle*, une grande valeur ajoutée à leurs efforts.

Les méthodes relatives aux systèmes complexes et leur application aux sciences de la vie et aux sciences humaines sont difficiles. Il s'agit de développer dans le long terme une expertise permettant une compétitivité à la hauteur des enjeux. La structure de laboratoire reste un lieu de formation d'un savoir nouveau qui a vocation à devenir classique. C'est l'endroit où des jeunes chercheurs se forment en étant confrontés à des défis motivants tout en étant aidés par un environnement favorable et pérenne.

### **IV. Conclusion**

Sur la base de la découverte du calcul intégral-différentiel, la confrontation sans cesse renouvelée entre les modèles et les données accumulées par les expériences a permis aux sciences physiques de produire un corpus théorique remarquable. Ce corpus fournit un ensemble d'outils et de méthodes non seulement pour reconstruire les données expérimentales mais encore pour prédire le comportement de toutes sortes de systèmes physiques, chimiques composés d'éléments suffisamment 'simples' et 'homogènes'.

Sur la base de certaines avancées théoriques du siècle dernier, venant des mathématiques, de l'informatique théorique et de la physique statistique, le but de la science des systèmes complexes est de fournir à la fois *les modes de calcul théorique et un corpus de modèles sur les systèmes complexes*. Sa stratégie consiste, comme

toutes les sciences mais de manière plus sophistiquée, dans un jeu sans cesse renouvelé entre les faits issus des données et les modèles théoriques qui permettent de les reconstruire. Le jeu entre les données et les modèles est beaucoup plus difficile car les systèmes complexes sont composés d'éléments eux-mêmes complexes et hétérogènes. Mais les moyens d'observations, de traitement des données et de simulation des modèles sont à présents beaucoup plus puissants. Et, surtout, la connaissance sur les éléments de base des systèmes complexes et leurs interactions – les composants macromoléculaires pour la biologie ou les neurones pour les systèmes cognitifs pour ne citer que ces deux exemples – fait des progrès rapides.

La science des systèmes complexes, définie dans ce document, est orthogonale aux disciplines et interdisciplines qui étudient les systèmes complexes. Elle se développe à partir des questions théoriques qui les traversent. Elle correspond à un mouvement profond de la science moderne qui produit un nombre rapidement croissant de données sophistiquées sur ces systèmes. Parce qu'elle concerne les systèmes complexes qui nous habitent et dans lesquels nous habitons, la science des systèmes complexes contribue aussi de façon durable à concilier la science avec les besoins sociétaux.

Le réseau national, les Instituts et les laboratoires des systèmes complexes mettent ainsi en œuvre des stratégies de recherche orthogonales aux sciences et aux techniques. Ils se développeront en jouant un rôle d'intermédiation crucial entre les sciences et les acteurs sociaux. Ce faisant, ils fournissent de nouvelles compréhensions, concepts, modèles et théories dont peuvent bénéficier en retour les sciences et les acteurs sociaux.

## **Appendice : Liste de questions relatives à la reconstruction, modélisation, gouvernance et conception des systèmes complexes .**

Ce document n'a pas pour but de produire une liste complète des questions qui se posent à la science des systèmes complexes. La liste suivante est ouverte et purement indicative. Elle est structurée en séries de questions, voisine de celle du paragraphe I.1. Elle est influencée par les discussions au sein de la communauté émergente des systèmes complexes à l'occasion de la préparation du Colloque de prospective des 11-12 février 2004 et dans des groupes de travail européens. Un travail très important reste à faire pour la compléter et la réorganiser en un véritable agenda soumis à la communauté. Un tel agenda est du ressort des délibérations du réseau national. Une première mise à jour a été effectuée après la rencontre CNRS – INSERM -INRA des 26-27 avril 2005

### ***1. Questions théoriques***

Les questions théoriques soulevées sont très variées. On ne peut se passer de la distinction entre plusieurs niveaux d'organisation. Les comportements individuels font émerger au niveau d'organisation suivant le comportement collectif à travers des structures organisées. Ces structures émergentes influencent en retour les comportements individuels. Les causes sont multiples et la causalité fonctionne à la fois de façon ascendante et descendante entre les niveaux d'organisation.

Mais quels sont les différents niveaux d'organisation avec leurs échelles spatiales caractéristiques ? Comment opère les influences réciproques entre les comportements individuels et le comportement collectif ? Comment travailler à plus d'un niveau d'organisation comme le veulent de plus en plus les travaux en biologie et en sciences économiques et sociales ? Comment caractériser les structures émergentes ? Comment penser la morphodynamique des structures émergentes, leur robustesse ou au contraire leur sensibilité par rapport aux conditions initiales et d'environnement et face aux perturbations ? Est-il plus pertinent d'étudier les attracteurs de la dynamique ou les familles de transitoires ? Comment penser ensemble les dynamiques lentes et rapides ?

Quelles propriétés émergentes spéciales caractérisent les systèmes complexes capables d'adaptation dans des environnements changeants, comme le sont la plupart des systèmes complexes qu'il faut étudier ? Au cours de cette adaptation, des entités individuelles apparaissent et disparaissent, des liens se forment et se défont dans le graphe des interactions. Comment penser la dynamique d'un réseau dont les liens apparaissent et disparaissent ? Peut-on interpréter la logique à long terme de la formation des liens comme une adaptation 'rationnelle' des réseaux aux fonctions qu'ils réalisent ?

Structurés sur plusieurs niveaux d'organisation, composés d'entités hétérogènes elles-mêmes complexes, les systèmes complexes recouvrent aussi bien les systèmes naturels des macromolécules du vivant jusqu'à l'écosphère que les systèmes artificiels sophistiqués dont l'homme s'entoure et qui s'inspirent de plus en plus des systèmes naturels. Ils sont uniques, imprévisibles et ne peuvent être connus qu'incomplètement. Leur observation, leur modélisation et l'intervention en leur sein posent des problèmes redoutables.

## **2. Questions liées à la reconstruction des dynamiques à partir des données :**

### *-Questions liées à la boucle épistémologique :*

La question de la reconstruction des dynamiques à partir des données est générique. Elle est source d'une classe de problèmes inverses, redoutable et partagée. Elle participe de la boucle épistémologique qui part des hypothèses modélisatrices et va jusqu'à cette reconstruction en passant par la construction de protocole de production et de traitement de données. La production fait appel à des appareils produisant des données de plus en plus sophistiquées. Le traitement de données multi-source, multi-modales s'apparente de plus en plus, lui aussi, à une reconstruction.

### *-Questions liées aux données et à leurs protocoles de production :*

La constitution des bases de données, la sélection des faits stylisés et leur extraction des bases de données posent toute une série de questions épistémologiques dont il faut discuter le statut théorique. Les bases de données sont distribuées, avec un ensemble de conséquences : elles sont hétérogènes par les protocoles de saisies, par leur format de description, par le type d'annotations, par la qualité des données, par leur statut public ou semi-public ou privé, par les *métadonnées* concernant tous ces points. La question des métadonnées est centrale aussi bien pour l'accès aux données que pour leurs traitements qui nécessitent de connaître leur contenu sémantique, leur fiabilité ou leurs domaines d'utilisation. La définition des métadonnées nécessite à son tour la définition d'ontologies comme vocabulaire commun. La construction d'ontologies est à nouveau une question difficile, qui exige des efforts importants de la part des communautés scientifiques.

Par ailleurs, les données deviennent plus sophistiquées, portant non seulement sur des séries numériques mais sur des images et des séquences d'images qu'il faut traiter et aussi reconstruire. Comment reconstruire des données complexes, bruitées, multimodales, etc.. ? Comment intégrer les informations venant de sources hétérogènes ? Comment coordonner l'usage, le développement et la constitution de ces bases de données distribuées ? Comment éviter d'en faire des cimetières de données alors qu'elles représentent une des plus grandes sources de richesse du futur ? Comment procéder à la sélection des faits stylisés, saillants, surprenants dans le flux toujours plus massif des données ? Peut-on concevoir des outils généraux pour commenter et annoter ces faits ?

### *- Questions liées à la reconstruction des dynamiques :*

Une question scientifique majeure et générique est celle de la reconstruction des dynamiques à partir des données. Cette reconstruction d'un modèle rend compte de manière dynamique des comportements individuels et collectifs dans leur interdépendance. Quels modèles reproduisent *au cours de leur simulation* les faits stylisés extraits des bases de données ? Quelle est la difficulté supplémentaire due à l'incomplétude des données ? On sait que les modèles possibles sont sous-déterminés par les faits. Il faut des principes de sélection de ces modèles supplémentaires, soit en raison de *principes théoriques a priori propres à des communautés scientifiques*, soit en raison de *conventions propres à la science elle-même comme le principe d'Occam* : choisir le modèle le plus simple qui rende compte des données. La question de la reconstruction est source d'une famille de problèmes inverses qui a un statut théorique propre. Comment faire avancer la résolution de cette famille de problèmes ? Comment concevoir des plateformes de simulation suffisamment générales prenant en compte ces contraintes ?

## **3. Questions liées à la gouvernance et à la conception**

L'ingénierie des systèmes complexes relève d'une deuxième classe de problèmes inverses, liée à la première : sur la base d'une reconstruction incomplète des dynamiques à partir des données, quelle stratégie présente les conséquences les plus souhaitables, ou, plus simplement, permet au système de rester viable ? Les questions soulevées par la gouvernance des systèmes complexes présentent ainsi un degré de difficulté supplémentaire. La stratégie se présente généralement comme un contrôle sur un système distribué où le contrôle peut être vu de manière générale comme une combinaison d'un contrôle centralisé et d'un contrôle décentralisé. On peut parler de contrôle complexe pour désigner cette combinaison tout à fait parallèle à la figure de l'émergence.

La question est maintenant celle de la reconstruction de dynamiques d'un système complexe sous l'effet supplémentaire d'un contrôle complexe. Les plateformes de simulations sont ici à nouveau essentielles pour expérimenter computationnellement des stratégies sans avoir à les essayer réellement. Comme il est généralement impossible d'expérimenter tous les contrôles possibles, comment parcourir l'espace des contrôles possibles ni trop ni trop peu ?

Là encore des problèmes inverses se posent. Sachant les contraintes de viabilité d'un système et sa dynamique non déterministe, dans quel sous domaine de l'espace d'état faut-il confiner le système pour assurer sa pérennité ? Ou bien comment faut-il modifier sa dynamique ? Ou encore, comment faut-il déformer dynamiquement ses contraintes de viabilité ? Les questions prennent encore un degré de difficulté supplémentaire lorsque les systèmes doivent être pensés à plusieurs niveaux d'organisation. Comment aborder les questions de gouvernance et de conception des systèmes de systèmes ?