

# Gestion des Connaissances Scientifiques ancrées sur des systèmes socio-environnementaux

Luiza Alonso<sup>1</sup>, Jean Sallantin<sup>2</sup>, Edilson Ferneda<sup>3</sup>, Dominique Luzeaux<sup>4</sup>

**Résumé.** Cet article porte sur l'efficacité d'une connaissance scientifique intervenant dans le contexte de la gestion d'un système socio-environnemental particulier comme celui constitué par l'Amazonie. Dans une première partie, nous présentons les outils informatiques à présent exploitables pour formuler, diffuser des connaissances entre scientifiques et envers des parties prenantes. Dans la seconde partie, nous donnons un cadre structural, concernant la co-construction interdisciplinaire d'une connaissance scientifique ancrée sur la supervision d'un territoire. Ce cadre structural, qui est en tant qu'objet mathématique "hors contexte", assure l'efficacité contextuelle d'un travail des scientifiques quand il combine multidisciplinarité, interdisciplinarité et transdisciplinarité.

## 1. Les mises en contexte de l'activité scientifique

Notre époque est caractérisée par la croissance exponentielle de la connaissance scientifique. Le nombre de groupes de recherche, projets internationaux de recherche et de publications scientifiques grandit de plus en plus. En principe, on devrait avoir toutes les réponses pour les défis présents. Néanmoins, il y a de multiples exemples où l'application d'une connaissance «compartimentée», voire standardisée, ne suffit pas. Il y a un consensus sur le fait qu'il existe des problèmes qui défient la logique traditionnelle linéaire, déterministe et objective, à la base de la rationalité cartésienne prônant la décomposition et la résolution analytiques. Les problèmes que nous affrontons aujourd'hui, comme les déséquilibres dans la société et dans la biosphère, influencent et sont fortement influencés par un environnement mondial et interconnecté. Comme conséquence de ces relations non linéaires dont les parties sont totalement interdépendantes, on est face à une complexité jamais vue. Il devient de plus en plus nécessaire de proposer un nouveau paradigme capable de traiter des incertitudes, ambiguïtés et contradictions de notre monde et aussi capable de faire agir avec diversité selon une démarche scientifique.

Il nous semble nécessaire de développer une nouvelle approche selon un paradigme qui prenne en considération la vision systémique, complexe et transdisciplinaire des phénomènes, et qui intègre, dans ce contexte, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) non seulement en tant qu'un ensemble spécifique d'outils et de systèmes, mais aussi en tant qu'une occasion de former, d'instrumenter et de connecter des réseaux aux multiples accès et aux formes interactives et constantes.

Nous pouvons légitimement en tant que scientifique examiner en quoi les TIC constituent un contexte opératoire nouveau à notre activité scientifique qui dévoile également des limites culturelles et sociales. Nous devons aussi examiner comment les problèmes concernés par notre activité nous forcent à penser autrement en science allant jusqu'à une pratique de la négociation entre disciplines scientifiques de la prise en considération de résultats prouvés par d'autres que nous dans une pratique interdisciplinaire. Les théories de la complexité fournissent un autre contexte d'encadrement structural à l'activité scientifique collective. D'où la question, qui sera développée à la fin de cet article, de l'efficacité d'une activité scientifique,

<sup>1</sup> UCB/MGCTI – Brasília, Brésil – lualonso@pos.ucb.br

<sup>2</sup> LIRMM – Montpellier, France – js@lirmm.fr

<sup>3</sup> UCB/MGCTI – Brasília, Brésil – eferneda@pos.ucb.br

<sup>4</sup> DGA/UMTER, dominique.luzeaux@polytechnique.org

instrumentée par les TIC et encadrée structurellement de manière à conjuguer les activités multidisciplinaire, interdisciplinaire et transdisciplinaire. La suite de ce travail va porter sur une étude de cas sur les recherches scientifiques menées au cours des 10 dernières années en Amazonie.

Nous proposons dans cet article d'appréhender au mieux les contextes qui agissent à l'intérieur ou délimitent de l'extérieur une activité scientifique globalisée.

## 2. Gestion des connaissances scientifiques

Le passage de la pénurie d'information à son abondance, voire sa surabondance, présente le double défi d'intégrer des recherches et gagner du temps dans la recherche de nouvelles solutions pour des problèmes qui sont de grand intérêt social ou économique.

Une première tentative d'intégration de la connaissance scientifique soutenue par les TIC a été la création de Réseaux de Travail afin d'atteindre des résultats plus significatifs et cohérents avec des délais plus petits : ces nombreuses pratiques ont eu des résultats en deçà de l'attendu. La difficulté se trouve dans la diversité des méthodes de travail, dans les différentes langues et dans les différentes manières de penser les phénomènes étudiés. Les Réseaux de Travail ont aussi besoin de considérer des barrières culturelles quand ils sont formés par des spécialistes de différents pays et d'environnements académiques avec des opportunités différenciées. Dépasser ce moment de diversité et pluralité méthodologiques et épistémologiques constitue un défi qui n'a guère été résolu jusqu'alors. C'est la Théorie de la Complexité qui aide à exposer des conditions pour lesquelles se produise l'union entre l'unité et la multiplicité.

Un système complexe inclut potentiellement beaucoup d'éléments ou plusieurs parties interdépendantes qui sont liées entre elles. Il implique aussi les idées de complication (différentes parties réunies dans un même espace) et de complétude (solidarité). Le tout n'est pas que l'addition des parties parce qu'il introduit de nouvelles relations et actions intégrées et interdépendantes, modifiant et transformant le résultat que l'on pourrait attendre de la simple juxtaposition de ses constituants.

Selon Morin (1991), la complexité est partout et elle ne peut pas être réduite à un modèle scientifique ou mental. Elle est régie par 3 principes : la dialogique, la récursivité organisationnelle et l'hologrammatique. La *Dialogique* est constituée des échanges, symbioses et rétroactions entre les systèmes, en particulier, entre l'être humain et la société. Ordre et désordre ne sont pas antagoniques, mais complémentaires, ce qui permet la dualité dans l'unité. La *récursivité organisationnelle* intègre que la cause produit l'effet qui devient la cause d'autres effets. *Hologrammatique ou Multidimensionnel* caractérise la relation entre le tout et les parties qui le composent ; il est impossible de concevoir le tout sans concevoir ses parties et vice versa.

La Théorie de la Complexité intègre des aspects *fonctionnalistes* et *critiques*. Fonctionnaliste parce qu'elle inclut les notions d'intégration, consensus, coordination fonctionnelle et ordre. Critique parce qu'elle considère les notions de conflit, changement et désordre. L'objectif n'est pas l'atteinte d'un seul modèle méthodologique, mais la coexistence d'abordages épistémologiques dans une perspective critique qui considère plusieurs perspectives, comme le social, l'environnemental, le scientifique et technologique.

Une seconde alternative d'intégration de la connaissance scientifique est celle qui souligne l'importance de la *négociation* comme étant une possibilité pour d'une part articuler la connaissance et pour dépasser la spécialisation qui peut faire que les uns gagnent et les autres perdent de l'autorité, d'autre part limiter l'influence et l'impact de la production technoscientifique. Le dialogue a besoin d'être fiable, ce qui normalement se produit avec l'établis-

sement de liens personnels nés de la motivation du travail de recherche sur des problèmes réels. La négociation aurait le potentiel de prévoir et gérer des conflits produits par différentes visions de monde, afin d'établir le dialogue, car le manque de communication, plus encore que celui de ressources financières, est un goulot d'étranglement important de la production scientifique.

Une combinaison entre les Réseaux Sociaux de Production de la Connaissance Scientifique et la négociation suggère que ces tentatives sont complémentaires, mais qu'elles ne répondent pas à la demande d'intégration de la connaissance scientifique. Basé sur la Théorie de la Complexité, le travail d'intégration s'initie avec l'élaboration de questions génératrices partagées qui se complètent, avec le commentaire de protocoles scientifiques collectifs et la compréhension de la triangulation entre différentes méthodologies (quantitatives et qualitatives) en objectivant la génération de données et d'informations qui s'intègrent plus naturellement.

L'impact des TIC dans la promotion du faire scientifique, dans le développement d'une culture cybernétique conduisant à l'élargissement de l'accès et la divulgation des informations et de la connaissance dans l'espace virtuel, démontre l'importance de défendre la création de plateformes technologiques qui prêtent attention aux différentes exigences sociales et académiques.

L'établissement de nouvelles formes de travail à partir de l'utilisation intensive des TIC et des Réseaux Sociaux de Production de Connaissance Scientifique exige donc des apprentissages afin de rendre le travail plus collaboratif entre divers groupes de recherche et pouvoir aller au-delà de l'établissement d'actions intégrées ou transversales. Certainement, un important moment pour les groupes de recherche est celui de la discussion de structures de la connaissance qui ne rejettent ou ne prétendent pas remplacer la spécificité des différents secteurs de la connaissance, mais qui puissent développer des méthodologies inter et même transdisciplinaires.

### **3. Technologies de l'information et de la communication, et gestion des connaissances scientifiques**

La grande quantité de connaissances produites par des institutions de recherche scientifique a donné origine à des discussions sur la Gestion des Connaissances Scientifiques. Les institutions essayent de trouver la meilleure manière d'organiser et de disséminer la connaissance produite par leurs chercheurs et de fournir des environnements et des outils qui stimulent la collaboration entre eux, dans la tentative de produire des innovations et de nouvelles connaissances qui puissent répondre aux exigences de la société.

Selon Osthoff et al (2004, p. 1) :

[...] dans la Gestion des Connaissances Scientifiques, il faut créer des moyens pour lesquels une institution puisse proposer des formes dynamiques et efficaces à leurs chercheurs pour les connaissances acquises au long du temps, en visant à l'exécution de leurs tâches, la collaboration entre elles et la dissémination de la connaissance individuelle, pour que cette connaissance soit partie significative de la connaissance organisationnelle.

Quand on essaye de pratiquer la Gestion des Connaissances Scientifiques, il faut comprendre comment la connaissance est obtenue, qui possède la connaissance, comment elle est formatée et comment les barrières, physiques et culturelles, doivent être transposées pour la codifier et disséminer.

Pour Morin (2007), le développement scientifique et le développement technologique sont des phénomènes circulaires parfaitement observables, donc la science permet de produire la technologie et celle-ci permet le développement de la science, qui, à son tour, développe la tech-

nologie. L'avancée technologique augmente le champ dans lequel un développement scientifique peut être vu, perçu, observé et conçu.

Les TICs contribuent beaucoup à l'amélioration des recherches scientifiques, en rendant agiles les processus, en rendant possible le stockage de grands volumes d'informations et de connaissances produites par les recherches et, plus récemment, en diminuant les distances et en facilitant la communication et la collaboration entre les chercheurs. Ainsi, il est possible de mettre en évidence plusieurs initiatives où les TICs ont été employées avec l'objectif de contribuer à la Gestion des Connaissances Scientifiques.

La Gestion des Connaissances Scientifiques est en train de réveiller l'intérêt des diverses communautés scientifiques, comme l'Administration, la Science de l'Information et l'Informatique. Des Programmes de Recherche & Développement sur la technologie comme média de la science sont financés par plusieurs organisations. Au Royaume-Uni, on peut citer par exemple le *UK e-Science Programme* de l'*UK Research Councils*<sup>5</sup>, et le *National e-Science Centre*<sup>6</sup>.

En Informatique, les nombreux aspects d'infrastructure informatique d'aide à l'activité scientifique sont traités dans ce qu'il s'est convenu d'appeler l'*e-Science*. Des événements scientifiques ont été organisés pour traiter de ce sujet, comme l'*IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing*<sup>7</sup>, déjà dans sa quatrième édition. Depuis 2007, a lieu le « Workshop sur e-Science » dans le contexte du Colloque Brésilien de Base de Données et du Colloque Brésilien d'Ingénierie de Logiciel, événements simultanés promus par la Société Brésilienne d'Informatique<sup>8</sup>.

Au Brésil, quelques projets méritent d'être signalés, comme le Projet *e-Science*<sup>9</sup> de l'Unicamp, et le projet GCC (OLIVEIRA et al., 2005 ; SAMPAIO et al., 2006) de la COPPE/URFJ, qui cherche à fournir des environnements informatiques de partage où les chercheurs peuvent changer des données, des expériences, des idées, et chercher des informations pour l'exécution de leurs tâches, prendre des décisions, apprendre et disséminer des connaissances.

Une des initiatives brésiliennes de travail intégré et interdisciplinaire est le Programme de Recherches pour la Conservation Soutenable de la Biodiversité – Programme Biota/FAPESP<sup>10</sup>. Initié en 1999, sa finalité était de systématiser la collecte, l'organisation et la dissémination des informations sur la biodiversité de l'État de São Paulo, en définissant les mécanismes pour sa conservation, son potentiel économique et son utilisation durable. Après une analyse du matériel recueilli et de la manière de travailler, a été réalisé un Atlas de la région qui est constamment mis à jour en ligne, avec accès public, et construit pour être relié avec d'autres initiatives au Brésil et dans d'autres pays.

Les activités scientifiques décrites ici impliquent des ressources hétérogènes distribuées géographiquement, tels que systèmes informatiques, instruments scientifiques, bases de données, sondes, composantes de logiciel, réseaux, et personnes. De tels efforts scientifiques à large échelle, désignés couramment sous le vocable d'*e-Science*, sont réalisés à travers des collaborations à une échelle globale.

Présentons, quelques secteurs de recherche en TI concernant le sujet de l'*e-Science* :

---

<sup>5</sup> <http://www.rcuk.ac.uk/escience/default.htm>

<sup>6</sup> <http://www.nesc.ac.uk>

<sup>7</sup> <http://escience2008.iu.edu>

<sup>8</sup> [http://sbbdes.ic.unicamp.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=46&Itemid=72](http://sbbdes.ic.unicamp.br/index.php?option=com_content&task=view&id=46&Itemid=72)

<sup>9</sup> <http://www.e-science.unicamp.br>

<sup>10</sup> <http://www.biota.org.br>

- **La grille informatique** est une architecture orientée services en ce sens que l'utilisateur interagit avec des services ou des services interagissent avec lui. Le concept de grille est l'opposé d'une architecture de type architecture client-serveur, dans laquelle les utilisateurs interagissent avec une entité physique, comme un serveur. La Grille permet d'intégrer des ressources et de créer une couche logique pour les virtualiser et pour les matérialiser dans des containers de services. Les Grilles informatiques apparaissent comme une technologie clé de calcul qui permet la création et la gestion de l'infrastructure de services de calcul basés sur l'Internet pour la réalisation d'*e-Science* et du commerce électronique à un niveau global. Des événements scientifiques ont été organisés pour traiter directement de ce sujet, comme l'*IEEE International Conference on e-Science and Grid Computing*, qui en est en 2008 à sa quatrième édition<sup>11</sup> et a réuni une masse critique de chercheurs avec des résultats significatifs.
- Le Web a plus de 20 ans et, de plus en plus, il fait partie de nos vies. Actuellement, le **Web Sémantique** est le centre d'attention de plusieurs efforts, de la part tant du secteur académique que de l'industrie, dans la mesure où il est considéré comme la prochaine étape d'évolution du Web tel que nous le connaissons. L'objectif de la construction du Web Sémantique est aussi englobante que le Web lui-même : créer un moyen universel de partage. On s'attend à ce que le Web Sémantique offre une nouvelle génération d'applications pour divers segments, comme les affaires, l'éducation, la science, et les services. Il rend donc nécessaire la réalisation de nouvelles recherches et la redéfinition d'anciens fondements. On peut prévoir des contributions de/pour plusieurs secteurs de la connaissance, comme dans la construction collaborative et la gestion des connaissances scientifiques.
- Une **bibliothèque numérique**, au sens large, est un lieu où les informations sont stockées sous un format électronique et peuvent être obtenues à travers l'Internet, disponibles sous différents formats : texte, audio, vidéo, image, etc. On peut définir une bibliothèque numérique par ses objectifs, ses intentions et sa durée de vie. L'objectif est d'offrir des services intégrés en permettant accès à des ressources dans des collections culturelles ou scientifiques. Les bibliothèques numériques sont intentionnellement pensées pour la recherche et l'apprentissage, et leur durée de vie indique qu'elles peuvent fournir accès à des informations préservées durant des périodes de temps relativement longues.
- De plus en plus, des scientifiques s'organisent au sein de réseaux ou de groupes de recherche dans l'idée de chercher en commun des solutions à des problèmes. En général, de tels groupes sont formés par des chercheurs de diverses institutions, souvent éloignées géographiquement, ce qui exige l'utilisation des TICs pour rendre le travail en équipe plus efficace. L'objectif de la communauté scientifique qui étudie le **CSCW (Computer-Supported Collaborative Work)** est de chercher comment le travail en groupe peut être assisté par les TICs, afin d'améliorer la performance de groupes dans l'exécution de leurs tâches. Basé sur la technologie de *groupware* – logiciels développés pour assister des groupes de personnes physiquement éloignées, mais qui travaillent ensemble –, le CSCW rend possible le développement d'environnements où le travail en groupe peut être exécuté de façon tant synchrone qu'asynchrone, en permettant la réalisation de travaux qui, sans l'aide de l'ordinateur, seraient difficiles ou même impossibles à être réalisés.

#### 4. Les scientifiques et les problèmes de la vie socio-environnementale

De plus en plus, la société délègue à la communauté scientifique la mission de l'éclairer sur ses choix de gouvernance. Les recommandations attendues constituent les bases pour le débat de chartes, de lois, de règles éthiques négociées par des communautés. Il est évident pour tous

<sup>11</sup> <http://escience2008.iu.edu>

que leurs mises en œuvre par les institutions vont fortement impacter la vie culturelle, économique et sociale de ces communautés. Le problème que nous abordons ici est de trouver une démarche que pourront reprendre d'autres communautés scientifiques et institutions ayant à s'affronter à des problèmes d'une même complexité : la famine, l'exclusion, le changement climatique...

La société ne demande évidemment pas à la communauté scientifique de trouver une solution universelle à de tels problèmes, qui n'ont même pas de définition formelle - mais d'en trouver des solutions dont elle pourra mesurer le risque, la faisabilité et l'utilité de leur mise en pratique. Mais peut-on trouver des principes qui permettent à une communauté scientifique interdisciplinaire de parvenir à élaborer, lors d'un débat avec la communauté économique et sociale, des recommandations utiles, praticables et d'un risque mesuré ?

#### 4.1 L'exemple de l'Amazonie

Commençons tout d'abord par préciser sur un exemple, ce que l'on entend par une démarche scientifique multidisciplinaire, interdisciplinaire et transdisciplinaire. Prenons une biosphère comme l'Amazonie et supposons, ce qui est le cas depuis au moins 10 ans, que l'Amazonie soit observée par de nombreuses communautés scientifiques et que la communauté socio-environnementale des donateurs d'ordre brésiliens souhaite être informée des conséquences de leurs réglementations. Supposons que chaque discipline produise des capteurs qui lui permettent de percevoir dans son registre scientifique des faits qu'elle soit capable d'interpréter théoriquement de manière à produire des prévisions. Supposons que le collège constitué de toutes les sciences observant l'Amazonie soit capable de prendre en compte dans ses calculs de prévision des résultats prouvés par une autre communauté. Supposons enfin que ce collège soit à même d'informer les parlementaires pour qu'ils légifèrent de manière à canaliser l'activité socio économique.

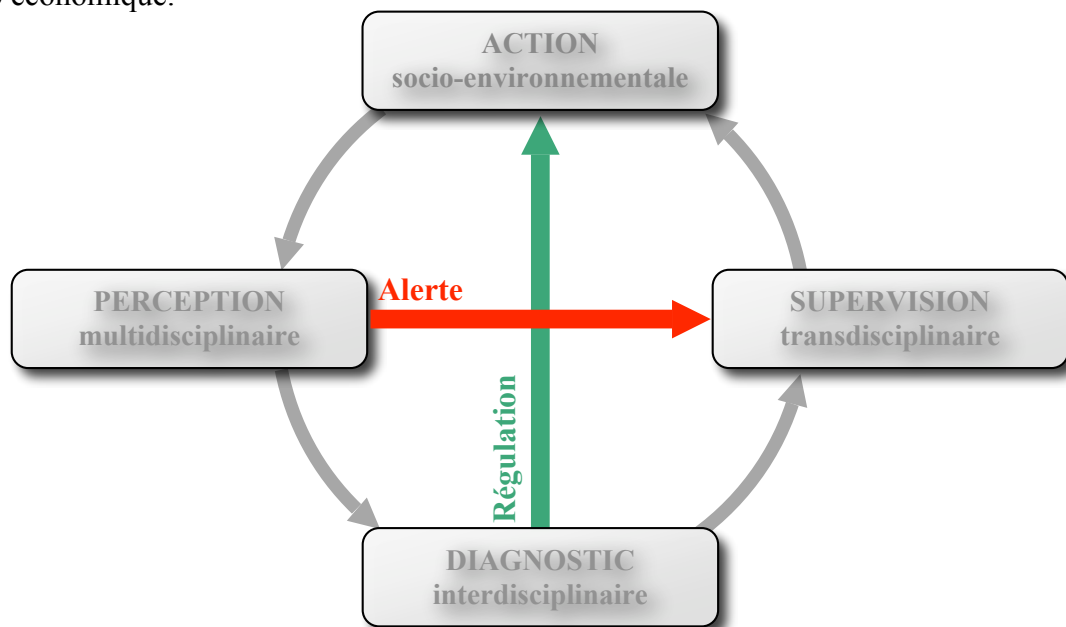


Figure 1 : Le cycle de régulation

Nous avons défini ici un cadre dialectique introduisant un cycle de régulation (Figure 1) que nous allons détailler (en partant du coin inférieur gauche et en tournant dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre). L'activité scientifique *multidisciplinaire* observe les effets de l'action humaine sur la forêt amazonienne. Un diagnostic *interdisciplinaire* va informer un

système *transdisciplinaire* de nature politique. Ce dernier va contraindre par des normes (principes, lois) les actions socio-économiques en Amazonie.

Deux opérations consolident le cycle :

- une opération d'alerte, qui permet à une discipline scientifique d'informer directement la supervision quand elle anticipe un dysfonctionnement trop grave pour être rattrapé par une régulation ;
- une opération de régulation, qui agit directement sur l'action socio-économique, évitant que le passage par la supervision ne ralentisse inutilement le tempo de l'action.

Un tel système présente deux aspects utiles :

- la supervision est anticipée et elle s'effectue après l'action : l'intervention de la régulation introduit une sorte de contrôle a posteriori ;
- l'alerte, en anticipant le diagnostic, caractérise une sorte d'intuition du système : si nous prenons un système ainsi doublement bouclé, l'alerte légitime va forcer le système de décision à contrarier une régulation devenue impropre.

Prenons un autre exemple : celui du bilan carbone et de la taxe carbone. Le bilan carbone est un indicateur appartenant au système de perception et justifié par plusieurs disciplines scientifiques. La taxe carbone est un dispositif appartenant au système de décision qui permet de réguler le jeu socio-économique. Nous pouvons considérer que dans le jeu social, si le bilan carbone est un signifiant, la taxe carbone est un signifié qui lui correspond. C'est ainsi que l'une des vertus du système d'alerte est de construire le signifié attaché à un indicateur.

Ce schéma montre bien deux rôles attendus des scientifiques : celui de lanceur d'alerte et celui de modélisateur intervenant dans la régulation du système. Les alertes doivent signaler les dérives du modèle ou encore le besoin d'approfondissement.

Remarquons au passage qu'il n'est pas besoin d'être scientifique pour être lanceur d'alerte. Cependant ce travail prophétique demande du courage et une capacité de persuader. Cassandre, fille de Priam, se refusa à Apollon après s'être promise à lui s'il lui donnait le don de divination. Pour se venger, Apollon lui dénia la capacité de persuader du bien fondé de ses prédictions.

Il demeure la question du statut collectif des scientifiques : sommes-nous des Cassandres incapables de persuader les politiques de changer leur vision du monde ?

Nous allons expliquer qu'il n'est rien dans la section suivante.

#### **4.2 Un cadre structural pour définir cette triple boucle de régulation**

À partir de la représentation précédente du cadre dialectique, nous allons en esquisser un modèle formel qui permettra d'établir certaines propriétés dont l'interprétation complètera les analyses précédentes. Détaillons déjà la structure sémiotique de la représentation : nous avons des systèmes liés par des flèches ; chaque système dispose d'objets et de relations entre objets. Par exemple, dans le système socio-environnemental, on a des agents qui agissent dans un environnement. Une autre flèche traduit ce système d'action socio-environnementale dans celui d'une perception multidisciplinaire. Les communautés scientifiques vont donc traduire les comportements des acteurs en informations sur ces comportements. Ces informations peuvent être constituées de faits perçus ou encore de résultats théoriques, dont le fondement appartient à chaque discipline et corpus théorique. Cette représentation diagrammatique est très compacte car tout le travail d'observation de l'Amazonie se résume ici par une flèche entre les systèmes de l'action et de la perception. Elle a aussi le mérite de donner naturellement lieu à

une formalisation via la théorie des catégories (LUZEAUX 98 ; LUZEAUX 2009), dont nous allons rappeler quelques notions de base dans les paragraphes qui suivent.

Une des pierres angulaires de la théorie des catégories est d'adopter de manière systématique un point de vue relationnel : tout peut être défini comme une flèche (i.e. intuitivement une relation ou une transformation, ou plus précisément un morphisme) entre objets, et d'ailleurs les objets eux-mêmes peuvent être définis en utilisant simplement des flèches (en fait, la simple différence conceptuelle a priori entre une flèche et un objet est que les flèches peuvent être composées et définissent donc un « depuis » et un « vers » ; mais un objet peut alors aussi être défini comme une flèche dont le « depuis » et le « vers » sont confondus). On se donne donc des *objets* et des flèches, i.e. des *morphismes*, entre eux. On peut donc définir des notions comme les produits, les coproduits, etc. qui sont des généralisations de ces notions habituelles : la différence principale est qu'au sein de la théorie des catégories, il est possible de les définir purement du point de vue relationnel, ce qui leur confère une très grande capacité de généralisation. Il devient alors possible de réinterpréter des résultats dans diverses branches mathématiques (algèbre commutative, topologie algébrique...) comme étant en fait des instanciations du même résultat démontrable via la théorie des catégories. C'est en ce sens que la théorie des catégories unifie des concepts a priori distincts au sein d'une seule et même notion, sur laquelle on peut démontrer des résultats généraux, qui apportent alors des réponses spécifiques dans chacune des domaines particuliers.

Si l'on applique récursivement les définitions, on peut considérer une catégorie particulière dont les objets sont eux-mêmes des catégories ; dans ce cas les morphismes entre ces objets composites sont appelés *foncteurs*. Si l'on explicite l'action d'un foncteur, on s'aperçoit qu'un foncteur entre catégories peut être défini comme associant aux objets de la première catégorie des objets de la seconde, et aux morphismes de la première des morphismes de la seconde, de telle manière qu'un morphisme entre deux objets de la première catégorie est envoyé sur un morphisme entre les images des objets. Ainsi un foncteur est une transformation qui conserve d'une certaine manière la structure de base entre les catégories considérées. Si l'on prend encore plus de recul, on peut considérer la catégorie dont les objets sont des foncteurs ; alors les morphismes entre foncteurs sont les *transformations naturelles*.

L'intérêt de ces notions est de pouvoir décrire a priori toute notion mathématique, certes au prix d'efforts conceptuels non nuls pour le non-initié, mais leur pouvoir démonstratif équilibre très largement ce point.

Si l'on revient à notre sujet initial, il est assez immédiat de traduire la figure 1 en termes de catégories. C'est ce qui sera illustré très brièvement ultérieurement dans ce papier (voir la démonstration intuitive en fin de section).

Nous voulons dans cette partie montrer comment le cadre présenté de manière structurale, a par ailleurs de bonnes propriétés formelles.

Formulons la question:

- supposons que le hasard ne régit pas le comportement de la forêt amazonienne et qu'il existe une formulation logique, même très abstraite, des lois de la régulation du système socio-environnemental amazonien ;
- supposons que cette formulation soit trop compliquée pour être calculée avec nos ressources de calcul informatique ;
- supposons aussi que nous disposons d'un « super-mathématicien » (au sens d'un solveur de problèmes) n'étant pas limité dans son activité de pensée, ni en temps ni en ressources de mémoire, et qui passe son temps à démontrer des théorèmes nous informant sur le comportement de ce système environnemental.

La question que nous allons considérer est la suivante : *Est-ce qu'une activité interdisciplinaire et transdisciplinaire menée par des agents ayant des ressources finies est capable de trouver ce que trouve ce super-mathématicien?*

Autrement dit : les lois de la nature sont-elles à la portée d'une société de scientifiques ?

La réponse que nous apportons est : oui. Mais pour y répondre précisément nous aurons besoin de quelques considérations et définitions.

Il y a *multidisciplinarité* quand plusieurs disciplines scientifiques interagissent pour l'étude d'un problème donné. On suppose ici qu'aucune communauté n'est omnisciente car chacune n'a qu'une vue partielle du problème. Il y a *interdisciplinarité* quand les communautés partagent leurs résultats vrais, faux ou inconnus. Chaque communauté est alors influencée et influence les autres communautés au moyen de ses résultats publiés. Il y a *transdisciplinarité* quand une communauté utilise dans son propre corpus les résultats d'une autre communauté. On peut voir le processus se passer selon le scénario suivant. Chaque communauté publie de manière isolée. Il y a régulièrement des rendez-vous au cours desquels les communautés échangent leurs résultats publiés. Chaque communauté repart de ce rendez-vous en retenant certains nouveaux résultats des autres. Elle fait ainsi évoluer ses propres publications soit en changeant le statut de ces dernières soit en proposant de nouveaux résultats. (MARTIN 2009)

**Le jeu social de la multidisciplinarité :** *On considère qu'un scientifique dans une activité multidisciplinaire n'utilise dans ses raisonnements que des énoncés prouvés dans sa communauté.*

**Le jeu social de l'interdisciplinarité :** *On considère qu'un scientifique dans une activité interdisciplinaire utilise dans ses raisonnements des énoncés prouvés par une autre communauté.*

Le principe de l'interdisciplinarité est d'admettre d'utiliser pour ses démonstrations certains résultats prouvés par d'autres collectivités et que nous ne pouvons pas démontrer seul. Nous pouvons cependant raisonner logiquement en admettant des résultats prouvés par d'autres et inaccessibles à nos démonstrations.

En informatique, on augmente la puissance de démonstration en distribuant l'activité probatoire et en tenant compte régulièrement des résultats des autres.

Une discipline scientifique n'a pas à pratiquer une interdisciplinarité sur ses propres résultats. Une interdisciplinarité est requise quand il n'y a pas de discipline omnisciente et omnipotente capable de résoudre le problème sans intervention des autres.

**Le jeu social de la transdisciplinarité :** *On considère qu'un acteur d'une activité transdisciplinaire doit prendre le risque de faire des hypothèses sur le monde en déclarant vrais certains énoncés.*

Le fait de supposer vrai certains énoncés va produire des effets dans le système socio-environnemental. Ceci va enclencher des travaux multi et interdisciplinaires qui vont, eux, déclencher parfois des alertes signalant une hypothèse erronée. Nous pouvons considérer les acteurs de la transdisciplinarité comme des parlementaires faisant des choix (hypothèses posées comme vraies sur lesquelles ils auront à revenir).

**La réponse précise à la question :** *Un collectif de scientifiques fonctionnant selon cette démarche multi, pluri et transdisciplinaire est capable en faisant un nombre fini d'hypothèses de démontrer les théorèmes du super-mathématicien après avoir fait un nombre fini d'erreurs.*

La démonstration intuitive de cette affirmation découle d'une part d'un résultat général lié au

formalisme catégoriel employé, d'autre part d'un argument de compacité logique qui permet de ramener toute l'activité du super-mathématicien à des étapes finies de résolution avec hypothèses et erreurs. En effet, on peut définir :

- une première catégorie incluant comme objets les systèmes « action » et « perception », et comme morphismes les flèches entre ces derniers, c'est-à-dire du point de vue interprétatif le travail d'observation scientifique illustré précédemment dans le cas d'étude de l'Amazonie ;
- une seconde catégorie, dont les objets sont le « diagnostic » et la « supervision », et les morphismes les flèches entre ces derniers, ce qui traduit à présent le travail d'introspection et d'échange propre à la rationalité scientifique, fût-elle individuelle ou communautaire,
- un couple de foncteurs entre ces deux catégories qui réalise le cadre dialectique, dont on pose qu'il définit une adjonction (propriété mathématique entre les deux catégories qui traduit le fait qu'il y a une correspondance à un certain niveau d'abstraction entre les opérations faites dans chaque catégorie : si  $F$  et  $G$  sont les foncteurs considérés allant respectivement de la première dans la seconde catégorie pour  $F$  et dans le sens inverse pour  $G$ ,  $A$  un objet de la première catégorie,  $B$  un objet de la seconde catégorie, alors il y a une transformation naturelle bijective entre l'ensemble des morphismes reliant  $FA$  à  $B$  d'un côté, et l'ensemble des morphismes reliant  $A$  et  $GB$  de l'autre), ce qui est une hypothèse forte mathématique, mais a priori pas tant du point de vue de la modélisation, car elle traduit simplement le fait qu'un acteur d'une discipline sait utiliser, après traduction dans son propre corpus, les résultats des autres, et que réciproquement les autres savent aussi utiliser dans leur corpus, après nouvelle traduction, ce que l'acteur a réussi à faire des savoirs d'autrui dans son propre corpus : ce n'est qu'une formulation de la nécessaire réflexivité (au sens de l'identification partielle possible entre un objet et la représentation de la représentation de cet objet).

L'adjonction donne alors un sens mathématique au cycle de régulation et permet de montrer qu'il se referme sur lui-même au bout de deux parcours (pour l'amateur de catégories averti : cela vient du fait que l'adjonction définit une monade, dont l'opérateur de composition correspond justement à un cycle ; par définition la double application de l'opérateur est naturellement isomorphe à l'application simple, d'où le résultat), d'où la clôture de la collection des théorèmes démontrés.

La compacité évoquée dans l'affirmation découle du fait que le recours à des communautés différentes via l'adjonction permet de s'affranchir en fait des limites de finitude.

Ce résultat a une portée métaphysique car il a pour fonction de faire observer une cohérence pour le système mis en place. Car finalement c'est le résultat que l'on souhaitait avoir. En effet, on souhaite qu'une activité scientifique collective éclaire la décision parlementaire quand celle-ci veut réguler un système complexe par des lois dont l'enjeu de le maintenir dans un état de viabilité.

## 5. Discussion et conclusion

Cette réflexion sur l'activité scientifique collective montre l'agissement de différents contextes sur cette dernière : son opérationnalisation technique, sa portée politique, et ses limites épistémologiques. Pour nous, l'activité scientifique ne se réduit pas à son instrumentation par les outils des TIC et elle en subit des biais comme ceux venant d'une biométrie scientifique qui pèse sur son activité. En revanche, certains problèmes qui sont maintenant des objets de science n'existeraient pas sans ces technologies. L'activité scientifique ne se réduit pas à son incitation par les demandes des politiques. Et pourtant certains problèmes, comme celui de la

gestion de l'Amazonie ou le réchauffement, n'existeraient pas dans le domaine scientifique sans leur relation à l'activité politique.

Ce dernier point ouvre la question de la spécialisation des sciences qui se singularisent par leur objet et leurs outils tout en restant unifiées par leur affrontement aux limites insaisissables de la connaissance. Nous considérons important cette nouvelle donne de l'activité scientifique : le scientifique a une double activité : le scientifique est une sentinelle ou lanceur d'alerte sur des situations socio-environnementales. Il est aussi producteur de conjectures prouvées qui produisent des résultats qu'il transmet aux autres scientifiques dans un échange interdisciplinaire. Cet échange permet d'approfondir et de fixer des manières d'agir qui ne sont légitimes que si elles sont signifiantes pour les législateurs car elles ont la capacité d'infirmer des hypothèses temporairement non valides.

L'activité scientifique se trouve ainsi confrontée à la technologie, de la politique, et à sa propre autorégulation. Nous avons exhibé une structuration interne structurale et elle est porte les débats en structurant des oppositions entre des visions de l'activité scientifique.

En conclusion, cette étude des propriétés formelles de la noosphère des idées scientifiques montre que ses auteurs défendent une activité scientifique animée par une passion joyeuse, à la manière de Spinoza, celle de la découverte. En effet, le cadre structural ne pose pas d'autre limite contextuelle au déploiement de la noosphère des idées scientifiques que celle de percevoir nos actions dans notre biosphère.

## Références

LUZEAUX, D. Towards the engineering of complex systems. In *Journées Nîmes 98 sur les Systèmes complexes, systèmes intelligents et interfaces*, Nîmes, France, 1998.

LUZEAUX, D. Category theory applied to digital systems theory. In *4<sup>th</sup> World Multiconference on Systemics, Cybernetics, and Informatics*, Orlando, FL, USA, 1998.

LUZEAUX, D. Vers une nouvelle théorie abstraite des systèmes en vue de leur ingénierie. In *Journées Internationales de l'Association Française pour l'ingénierie système*, Paris, France, 2009.

MARTIN E., SALLANTIN J. A Dialectic Approach to Problem Solving *Discovery Science Porto octobre 2009 LNAI 5808 pp : 417-424, 2009*

MORIN, E. (1990). *Science avec conscience*. Paris. Fayard.

MORIN, E. (1991). *Méthode IV. Les idées, leur habitat, leur vie, leurs moeurs, leur organisation*. Paris. Seuil.

OLIVEIRA, J., SOUZA, J. M. de, MIRANDA, R., RODRIGUES, S. (2005). GCC : An Environment for Knowledge Management in Scientific Research and Higher Education Centres, In : *Proceedings of I-KNOW '05*, Graz, Austria.

OSTHOFF, C., MONTEIRO, A. C. V., SOUZA, J. M., OLIVEIRA, J., STRAUCH, J., ALMEIDA, R., BRITO, H. MODGRID Um ambiente na WEB para desenvolvimento e execução de modelos espaciais em um ambiente de Grades Computacionais. Petrópolis: Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC, 2004

SAMPAIO, J. O.; SOUZA, J. M.; MIRANDA, R.; RODRIGUES, S.; KAWAMURA, V.; MARTINO, R.; MELLO, C.; KREJCI, D.; BARBOSA, C. E.; MAIA, L. (2006). GCC: A Knowledge Management Environment for Research Centers and Universities. In : *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Asia-Pacific Web Conference*, Harbin. Frontiers of WWW Research and De-

velopment - APWeb 2006. v. 3841. p. 652-667.