

BULLETIN N° 105
ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 9 mai 2006

Conférence de Notre Collègue le Pr. Emmanuel NUNEZ
en avant-propos au colloque de l'AFSCET des 13 et 14 mai 2006
"Les représentations au crible de l'Approche systémique"

Prochaine séance : le Mardi 13 juin 2006

Conférence de Notre Collègue le Pr. Hervé AUBERT
de l'INPT-ENSEEIH de Toulouse :
"Modélisation électromagnétique d'objets à échelles multiples
- Applications aux dispositifs hyperfréquences et à la télédétection"

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
FONDATION DE LA MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

PRESIDENT : Michel GONDRAN
SECRETARE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN
SECRETARE GENERAL ADJOINT : Noëlle CAGNARD
TRESORIER GENERAL : Bruno BLONDEL
CONSEILERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDJI.
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNOLOGIES : Pr. François BEGON
PRESIDENT DE LA SECTION DE NICE : Doyen René DARS
PRESIDENT DE LA SECTION DE NANCY : Pierre NABET

PRESIDENT FONDATEUR
 DOCTEUR Lucien LEVY (†).
PRESIDENT D'HONNEUR
 Gilbert BELAUBRE
SECRETARE GENERAL D'HONNEUR
 Pr. P. LIACOPOULOS

Mai 2006

N°105

TABLE DES MATIERES

- P. 3 Compte-rendu de la séance du 9 mai 2006 avec la conférence par notre Collègue le Pr. Emmanuel NUNEZ , en avant-propos au colloque de l'AFSCET des 13 et 14 mai 2006 "*Les représentations au crible de l'Approche systémique* »
 P. 6 Compte-rendu de la section Nice-Côte d'Azur du 20 avril 2006
 P. 8 Documents :

Prochaine séance : Mardi 13 juin 2006

MSH, salle 215 à 18h

Conférence de Notre Collègue le Pr. Hervé AUBERT :
« Modélisation électromagnétique d'objets à échelles multiples- Applications aux dispositifs hyperfréquences et à la télédétection »

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Séance du
Mardi 9 mai 2006

Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, salle 215, à 18 h.

La séance est ouverte à 18 h. 00 sous la Présidence de Michel GONDRAN et en présence de nos collègues, G. BELAUBRE, N. CAGNARD, G. COHEN-TANNOUDJI, J.P. FRANCOISE, I. HERPE-LITWIN, P. MARCHAIS, V.MASTRANGELO, E NUNEZ, A..STAHL,

Etaient excusés : Bruno BLONDEL, Gérard LEVY, M.L. LABAT

I) Informations générales

Notre Président, Michel GONDRAN, nous fait part de la candidature de Jacques LEVY. Né en 1927, médecin, neuropsychiatre, agrégé de Physiologie, titulaire de nombreuses récompenses académiques et auteur de nombreuses publications, Jacques LEVY est également un ami des Professeurs BEAULIEU et de LACASSAGNE.

La candidature de Jacques LEVY, soumise à un vote à bulletin secret, a été acceptée à l'unanimité des participants.

Notre Collègue, Gilles COHEN-TANNOUDJI nous fait ensuite part des informations suivantes :

- Préparation d'un congrès sur la **Plasticité** pour l'année 2007, dans le cadre des réflexions sur « **Physique et Interrogations fondamentales** ». Il aimerait à cette occasion contacter Dominique LAMBERT et René RESZÖHAZY auteurs de « *Comment les pattes viennent au serpent, un essai sur l'étonnante plasticité du vivant* ».
- Une journée d'inauguration de l'APC (Astroparticules et Cosmologie) à laquelle ont participé J. CRONIN, G.VENEZIANO, J.PAUL, S. HAWKING s'est tenue le 6 mai 2006 à la Bibliothèque Nationale de France. Une vidéo de cette journée a été saisie par Olivier DREVON qui est accessible sur le site : http://www.apc.univ-paris7.fr/APC_GP

Notre Collègue Gilbert BELAUBRE évoque la possibilité d'organiser pour la seconde quinzaine de septembre prochain une visite du CERN. Il nous suggère de parcourir le numéro du magazine « La Recherche » dédié aux avancées dans le domaine des particules élémentaires.

II) Conférence de notre Collègue le Pr. Emmanuel NUNEZ : « Les Représentations au crible de la systémique »

Représentation

Notre Collègue part de l'exemple de l'artiste qui possède une perception de la réalité qu'il va moduler en fonction de sa personnalité pour différencier perception et représentation. La représentation est construite par l'artiste qui peut projeter sur elle une part de sa vision intime.. Néanmoins la représentation peut être considérée comme un schéma pertinent du réel qui nous aide à analyser le monde complexe qui nous entoure.

Démarche systémique

La démarche systémique consiste à analyser un objet selon tous les sous-systèmes qui le composent. La réunion de toutes les facettes possibles de la représentation d'un objet conduit à une vision multiparamétrique, globale de la situation . L'obtention d'une telle représentation constitue un des objectifs principaux de la systémique.

Comme situation complexe, notre Collègue nous cite le problème multifactoriel des violences dans les banlieues conduisant selon certains soit à une attitude culpabilisante pour la Société dans son ensemble, soit à une stigmatisation des jeunes des banlieues. Il nous cite les diverses interprétations causales invoquées :

- Chômage des jeunes
- Société de consommation
- Lutte des classes
- Différences culturelles
- Méfaits de la colonisation
- Transplantation de populations issues de cultures très différentes
- Polygamie
- Violences commises par les forces publiques
- Rôle de la justice
- Promiscuité , architecture en tours et barres
- Conflit du Proche Orient
- Victimisation des coupables
- Racisme des communautés culturelles, communautarisme
- Libéralisme
- Trafic de substances illicites
- Carence de Laïcité
- Goût pour la provocation violente
- Rôle des media

La recherche d'une stratégie de réponse est donc éminemment complexe. Nous sommes en présence d'une sorte de boîte noire dont le contenu ne peut être abordé que par des représentations – lesquelles sont nécessairement **réductrices** -.

Ces réductions sont nécessaires pour traiter rationnellement le problème. La prise en compte systémique de **l'ensemble des représentations possibles** vise à éviter le travers des diverses « théories du complot » qui émergent dans ce type de situations. Le traitement du problème exige ensuite une **modélisation** logique de la situation tenant compte de l'ensemble des facteurs et des interrelations entre eux. Cette modélisation nécessite également une sélection des facteurs qui

résultent de nos perceptions et nos émotions pour construire une représentation un tant soit peu objective.

La représentation passe par une phase « individuelle ». Certains déclarent à ce sujet que la représentation construite par un individu constituerait un « **mème** »¹ correspondant à un ensemble d'idées qui - comme les gènes - reproduiraient des séquences identiques. Ces « **mèmes** » selon les tenants de la « **mémétique** » auraient la capacité de se propager de l'individuel au collectif. Ils seraient même habités d'une finalité à vouloir se propager à l'image du gène égoïste de DAWKINS.

De nombreuses réactions font écho à cet exposé:

- De même que le gène n'est probablement animé d'aucune finalité cf. l'ouvrage « Ni dieu ni gène » de KUPIEC et SONIGO de 2002, une telle programmation du « mème » est difficile à admettre.
- Cette hypothèse très déterministe et finaliste posséderait donc un caractère théocratique qui nierait en partie la liberté du sujet.
- Pour modéliser, il faudrait pouvoir quantifier, rationaliser complètement le contenu de la « boîte noire » ce qui semble bien difficile compte tenu de la complexité du contenu.
- Néanmoins, il faudra bien essayer de modéliser en vue de trouver des solutions
- Selon notre Collègue Gilbert BELAUBRE, nos représentations sont nourries par la mémoire ; à leur contenu « objectif » s'ajoute toujours une charge affective. Mais outre la mémoire, un considérable travail de réduction permet seul d'accéder à la symbolisation et finalement au vocable. Dans cette optique, c'est la capacité à réduire qui apporte le sens. Le vocable, est le, véhicule de la pensée dans l'intersubjectivité du groupe humain. La pensée humaine, étant verbale, est un phénomène essentiellement collectif.
- Au niveau supérieur **émergerait** la pensée du groupe, fondée sur des relations d'intersubjectivité. Cette dernière forme de pensée peut être soumise à des manipulations, dont les conséquences sont des actes collectifs dans lesquels l'individu perd une partie de son autonomie et se fond dans la masse...
- Selon notre collègue Emmanuel NUNEZ, il serait intéressant de trouver les **points critiques** du système.
- La collusion entre systémique et holisme est mise en cause par notre collègue Pierre Marchais. P. Marchais ajoute qu'il est nécessaire de ne pas fonder exclusivement les représentations sur la structure en oubliant le rôle majeur de la dynamique. Il faut également, lorsqu'on parle de modèles, distinguer les différents états de la représentation selon l'approximation du réel à laquelle ils correspondent – analogie, schéma, modèle- . Notre collègue Gilles COHEN-TANNOUDI nous renvoie, à ce sujet, aux études de Ferdinand GONSETH.

Après cette dernière information, la séance est levée à 20 heures.

Bien amicalement à vous,

Irène HERPE-LITWIN

¹ Voir p.15 article relatif à la théorie du « mème »

Compte -Rendu de la Section Nice-Côte d'Azur

Le savoir est le seul bien qui s'accroisse à le partager. Comprendre est bien sans limite qui apporte une joie parfaite.

Baruch SPINOZA (1632-1677)

Compte-rendu de la séance du 20 avril 2006 (93^{ème} séance)

Présents :

Jean Aubouin, René Blanchet, Sonia Chakhoff, Pierre Couillet, Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Paul Goux, Yves Ignazi, Gérard Iooss, Jacques Lebraty, Jean-François Mattéi, Maurice Papo, Jacques Wolgensinger.

Excusés :

Emile Girard, Jean Jaubert, Michel Lazdunski, Daniel Nahon.

1- Approbation du compte-rendu de la 92^{ème} séance.

Le compte-rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

2- Visite de l'Académie des Sciences à Nice-Sophia Antipolis.

L'Académie des Sciences organise une séance statutaire à l'Université de Nice-Sophia Antipolis les mardi 30 et mercredi 31 mai.

Les membres de l'AEIS Nice Côte d'Azur sont cordialement invités.

Le programme de cette importante manifestation est joint.

3- Cycle de conférences économiques.

Sur proposition de notre confrère René Blanchet, notre confrère Jacques Lebraty propose d'organiser un cycle de conférences autour du thème : l'entreprise et la mondialisation. Ces conférences mensuelles auront lieu au C.U.M. au cours de l'année prochaine.

Interviendront successivement :

1- Professeur Albert Marouani, Président de l'Université de Nice-Sophia Antipolis : « L'insertion du bassin méditerranéen dans la mondialisation »

2- Marc Touati : « Le rôle des marchés financiers »

3- Professeur Jacques Lebraty : « L'esprit d'entreprise »

4- Robert Le Duff : « Le rôle de l'Etat dans la vie économique »

5- Jean-Marie Cotteret : « Le rôle de la télévision dans la vie économique »

6- Table ronde de quatre chefs d'entreprises, animée par un professeur du CERAM sur : « Les P.M.E. et la mondialisation ».

Il est proposé à Jacques Lebraty de demander à la C.C.I. de patronner ce premier cycle de conférences de manière à obtenir un plus large public et, éventuellement, un soutien financier pour la publication par nos soins des textes de ces exposés.

4- Edition des actes du 6^{ème} colloque : Les peurs de notre temps.

Les actes du colloque ont été apportés à l'imprimeur qui livrera 300 exemplaires au P.U.F. pour qu'ils soient distribués en juin prochain aux libraires.

5- Visite à Paris de notre Président, invité à faire une conférence à l'AEIS Paris sur ses souvenirs de jeune géologue en Afrique Occidentale Française.

Nous n'avons pas encore eu ce privilège ... (*Note du secrétaire général*).

6- Le Président signale la parution d'un livre collectif animé par notre confrère Jean-François Mattéi : « La République brûle-t-elle ? » et dont il nous recommande la lecture.

7- Notre confrère Pierre Coulet a décidé de se présenter à la direction de l'IUFM de Nice. Nous le félicitons vivement de sa décision et lui souhaitons bon courage.

★★

Prochaine réunion
le jeudi 18 mai 2006 à 17 heures
au siège
Palais Marie-Christine
20 rue de France
06000 NICE

Documents

Comme plusieurs articles font allusion à la transformée en ondelettes, une petite présentation de cet outil mathématique due à notre Président vous est proposée :

P . 9 : « transformée en ondelettes »

Dans le cadre de la conférence de notre Collègue Hervé AUBERT nous vous proposons un résumé de sa présentation ainsi que - dans une seconde pièce jointe en pdf - un autre exemple d'utilisation de la transformation en ondelettes présenté par le Pr. Alain ARNEODO lors du congrès « Fractales en progrès » de novembre 2004

P . 10 : « Modélisation électromagnétique d'objets à échelles multiples - Applications aux dispositifs hyperfréquences et à la télédétection » par notre Collègue le Pr. Hervé AUBERT

Pièce jointe PDF : « Généralisation de l'analyse multifractale aux champs vectoriels à l'aide de la transformation en ondelettes » par Alain ARNEODO et Pierre KESTENER

Dans le cadre de notre intérêt pour les modélisations biologiques nous vous proposons :

P. 13 : « Premières approches pour une modélisation pertinente des fonctions biologiques » par François MOLINO du laboratoire de génomique fonctionnelle de l'université de Montpellier.

Pour illustrer la théorie du « même » - objet de débat - à laquelle il a été fait allusion nous vous proposons un petit texte résumant cette théorie pris sur le site <http://www.memetique.org/> :

P. 15 : « Les mêmes, supports de l'évolution culturelle » par Pascal Jouxte

Transformées en ondelettes

La transformée de Fourier est la plus ancienne technique d'analyse en fréquence des signaux.

Si le signal est périodique, la transformée de Fourier (spectre) est constituée de raies régulièrement espacées (la fondamentale et les harmoniques). Pour des signaux non périodiques, l'intégrale de Fourier fournit un spectre continu.

Cette analyse de Fourier présente cependant des inconvénients majeurs, car tous les aspects temporels du signal disparaissent, par exemple le début et la fin pour un signal fini, ou l'instant d'apparition d'une singularité.

Ainsi, dès que le signal est irrégulier, on souhaiterait réaliser une analyse à la fois en temps et en fréquence, à la manière d'une portée musicale où sont indiquées à la fois la fréquence et la durée des notes.

La première solution a été d'effectuer une transformée de Fourier avec une fenêtre glissante, comme cela a été proposé par Gabor dans les années 1940.

Mais la méthode de Gabor présente encore l'inconvénient d'avoir une fenêtre de longueur fixe, handicap patent lorsqu'on peut traiter des signaux dont les variations peuvent avoir des ordres de grandeur très variables. C'est le cas notamment en traitement du son : l'attaque de la note est une phase très brève siége de hautes fréquences et caractéristique de l'instrument et de l'interprète, tandis que le reste de la note contient des fréquences relativement plus basses. C'est également le cas pour l'analyse de la turbulence en mécanique des fluides où apparaissent des phénomènes significatifs à des échelles à la fois macroscopiques et microscopiques (cf. papier joint).

Le géophysicien G. Morlet a constaté ces inconvénients en prospection pétrolière, pour l'analyse de signaux sismiques captés après réflexion sur des couches géologiques. Ceci l'a amené à proposer en 1983 une méthode nouvelle où la fenêtre varie par translation mais aussi par dilatation ou contraction. C'est le début de l'analyse en ondelettes.

L'idée est de faire simultanément des analyses à des échelles différentes, ces analyses étant compatibles entre elles.

Pour cette analyse multirésolution, on part d'une fonction de base, qui oscille et s'amortit comme une vague (d'où le nom d'ondelette), appelée ondelette-mère ou ondelette analysante.

En chaque point du signal (point d'espace ou/et de temps), on analyse alors le signal à toutes les échelles, le calcul d'une échelle dépendant des résultats du calcul de l'échelle précédente.

On obtient donc un microscope à focale variable permettant de voir et d'analyser le signal aux endroits où il se passe quelque chose ; numériquement cela correspond à l'échelle et à l'endroit où les coefficients des ondelettes sont grands.

Notons enfin que cette approche est particulièrement indiquée dans l'analyse des fractales, dont les structures demeurent inchangées à différentes échelles.

Modélisation électromagnétique d'objets à échelles multiples

Applications aux dispositifs hyperfréquences et à la télédétection

Prof. Hervé Aubert

INPT-ENSEEIH, 2 rue Charles Camichel, 31000 Toulouse

LAAS-CNRS, 7 avenue du Colonel Roche, 31000 Toulouse

Résumé : cette communication synthétise les travaux récents de l'auteur et de ses collaborateurs sur la modélisation électromagnétique de structures – manufacturées ou naturelles – à échelles multiples.

Pour la modélisation de structures multi-échelles manufacturées, une technique par changements d'échelle est développée et appliquée à la conception électromagnétique de dispositifs hyperfréquences à haute densité d'intégration pour les communications sans fil.

Lorsqu'ils s'appliquent à des structures naturelles à échelles multiples (e.g., à un sol rugueux, à la surface d'un océan ou à un couvert végétal) les travaux de l'auteur se focalisent sur la résolution de problèmes électromagnétiques inverses : il s'agit d'extraire à distance (télédétection) les descripteurs fractals (dimension et lacunarité) d'une scène naturelle donnée à partir de l'analyse en ondelettes de son écho radar.

I. Modélisation électromagnétique d'objets à échelles multiples

1. Technique par changements d'échelle pour les circuits planaires multi-échelles

Lorsqu'elles s'appliquent à des structures manufacturées, les travaux de l'auteur et de ses collaborateurs répondent à un fort besoin actuel d'élaboration d'outils rigoureux pour la conception électromagnétique de circuits pour télécommunications à haute densité d'intégration et miniaturisés. En effet, la compacité grandissante de tels circuits oblige les concepteurs à tenir compte des couplages électromagnétiques inter-composants (à petite échelle) et inter-systèmes (à grande échelle). Or, cette multiplicité des échelles présentes dans les circuits modernes rend délicate leur modélisation électromagnétique et ceci, quelle que soit la méthode utilisée. Ainsi l'analyse électromagnétique directe par des méthodes numériques classiques basées sur une discrétisation spatiale (e.g., méthode des éléments finis, méthode des différences finies, méthode des moments) ou spectrale (méthodes modales) aboutit généralement à des matrices mal conditionnées, des problèmes de convergence numérique et/ou des temps de calcul excessifs. La multiplicité des échelles présentes dans un circuit est donc plus généralement traitée en associant des logiciels de natures différentes (développement des simulateurs dits « globaux », hybridation des méthodes numériques). Cependant, lors de ces associations, les ajustements sont souvent délicats tant au niveau théorique que pratique.

L'alternative originale que nous avons proposée consiste à résoudre le problème de la multiplicité des échelles dans les circuits par la mise au point d'une modélisation électromagnétique unique procédant par des changements d'échelle successifs. Cette technique a été baptisée « technique par changements d'échelle ». Elle a été appliquée au calcul de la surface équivalente radar d'objets planaires fractals [1, 2], à la simulation électromagnétique de cellules déphaseuses à Micro-commutateurs Electro-Mécaniques radio-fréquences [3] et à des antennes planaires [4]. Dans tous ces cas d'étude la technique par changements d'échelle s'est avérée très performante en terme de temps de calcul et a autorisé une optimisation aisée des structures étudiées. Des objets absorbants

électromagnétiques et multispectraux (camouflage radar) et des objets diffractants à signature radar contrôlée (leurage électromagnétique) ont ainsi pu être simulés efficacement.

Des résultats concrets de simulation et les temps de calcul associés seront présentés lors de la conférence.

2. Analyse en ondelettes des structures naturelles fractales

Les recherches menées par l'auteur et ses collaborateurs sur les objets naturels à échelles multiples ou fractals (e.g., un sol rugueux, la surface d'un océan, un couvert végétal, un réseau fluvial) permettent d'explorer à distance les propriétés d'autosimilarité d'une scène naturelle à partir de l'analyse du signal électromagnétique qu'elle réfléchit (résolution du problème inverse). Il s'agit d'extraire les descripteurs fractals (dimension, lacunarité) d'une scène naturelle à partir de l'analyse de la réponse de cette scène à une impulsion électromagnétique (écho radar).

L'approche proposée consiste à analyser les propriétés d'invariance d'échelle de la réponse impulsionnelle en utilisant des ondelettes [5, 6]. Des résultats encourageants ont été obtenus récemment dans le cas d'objets fractals canoniques (e.g., des treillis fractals [7, 8]) et en présence de bruit (additif, blanc et gaussien [9]). Ils ouvrent la voie à l'application des ondelettes dans la résolution de problèmes électromagnétiques inverses impliquant des scènes naturelles fractales. Des résultats de simulation récents seront présentés le jour de la conférence.

II. Conclusion

Les problèmes numériques dus à la multiplicité des échelles se posent de plus en plus fréquemment dans la conception de circuits intégrés hyperfréquences à haute densité d'intégration et miniaturisés. L'approche par changements d'échelles permet d'envisager la modélisation électromagnétique globale de ces circuits.

En outre, appliquée à des structures multi-échelles et autosimilaires (fractales), cette technique permet d'ouvrir la voie à la conception maîtrisée de dispositifs hyperfréquences originaux qui trouvent aujourd'hui des applications dans les réseaux raréfiés d'antennes, dans les surfaces sélectives multi-bandes et dans les antennes multi-bandes compactes et dans le camouflage (et le leurage) radar.

Remerciements : La technique par changements d'échelle a bénéficié du support financier de Alcatel Alenia Space, de Lacroix SA et de la région Midi-Pyrénées. Les résultats de modélisations multi-échelles présentés lors de la conférence sont le fruit de collaborations de l'auteur avec (par ordre alphabétique) : J. David, D.-L. Jaggard, Y. Laksari, H. Legay, E. Perret, R. Plana, P. Pons, A.-S. Saleh, J.Y. Tourneret et D. Voyer.

Références bibliographiques

- [1] D. VOYER, H. AUBERT, J. DAVID, "Scale Changing Technique for the Electromagnetic Modeling of Planar Self-similar Structures," accepted for publication in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, March 2006.
- [2] D. VOYER, H. AUBERT, J. DAVID, "Radar Cross Section of Self-similar Targets," *Electronics Letters*, vol. 41, No. 4, pp. 215 – 217, February 17, 2005.
- [3] E. PERRET, H. AUBERT, H. LEGAY, "Scale Changing Technique for the Electromagnetic Modelling of MEMS-controlled Planar Phase-shifters", accepted for publication in *IEEE Transactions Microwave Theory and Techniques*, April 2006.
- [4] E. PERRET, H. AUBERT, "Scale Changing Technique for the Computation of the Input Impedance of Active Patch Antennas," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2005, Vol. 4, pp. 326–328.
- [5] H.AUBERT, D.L.JAGGARD, "Fractal Superlattices and Their Wavelet Analysis," *Optics Communications*, vol. /issue 149/406, pp. 207-212, June 1998.
- [6] H.AUBERT, D.L.JAGGARD, "Wavelet Analysis of transients in Fractal Superlattices," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-50, No. 3, pp. 338-345, March 2002.
- [7] A.-S. SALEH, H. AUBERT, D.L. JAGGARD, "Lacunarity of Multi-gap Fractal Superlattices Using Wavelet Analysis," *Optics Communications*, vol. 197/4-6, pp. 255-260, October 2001.
- [8] Y. LAKSARI, H. AUBERT, D.L.JAGGARD, "The Wavelet-based Partition Function for the Remote Analysis of Discrete Self-similar Objects," *Electronics Letters*, vol.38, No. 14, pp.741-742, July 2002.
- [9] Y. LAKSARI, H. AUBERT, D.L.JAGGARD, J.Y. TOURNERET, "Lacunarity of Fractal Superlattices: a Remote Estimation using Wavelets," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-53, No. 4, pp. 1358 – 1363, April 2005.

Premières approches pour une modélisation pertinente des fonctions biologiques

par François MOLINO
Physicien, Laboratoire de Génomique fonctionnelle,
Université de Montpellier.

Pour un physicien théoricien de formation, il est naturel lorsqu'on saute le pas de la biologie, de rechercher un contexte expérimental où la modélisation mathématique des fonctions biologiques paraisse pouvoir jouer un rôle significatif dans l'avancée des connaissances, en entrant dans un dialogue pertinent avec les observations. Ce n'est pas évident à trouver : la plupart des travaux pionniers en biologie actuellement me paraissent encore de l'ordre du « recensement » des mécanismes (moléculaires par exemple), ou de celui d'une cartographie structurale ou fonctionnelle qui peut se permettre d'avancer en laissant largement en suspens la modélisation.

Les effets auxquels je souhaitais m'intéresser relèvent des comportements en réseau, tels qu'on les rencontre à différentes échelles : réseaux moléculaires à l'intérieur des cellules (réseaux métaboliques ou réseaux de signalisation), réseaux cellulaires (cerveau, structures sécrétrices), ou encore interactions à grande échelle dans la physiologie de l'organisme.

Le « comportement » d'un réseau fonctionnel est fortement dépendant de toute une série de questions successives (1) la topologie « statique » : quels sont les acteurs, et qui est relié à qui ?; (2) la topologie « fonctionnelle » : quel est le message dans chaque lien (inhibition, excitation)?; (3) les temps caractéristiques d'action de chaque lien, qui font que des parties entières du réseau ne jouent aucun rôle fonctionnel sur certaines échelles de temps caractéristiques ; et enfin (4) au delà d'un « temps caractéristique », le détail du décours temporel de l'interaction peut être déterminant pour la réponse.

Lorsque les informations expérimentales concernant la structure du réseau sont trop lacunaires (liste des partenaires, liste et nature des interactions, mais aussi position dans l'espace, temps caractéristiques) on aboutit le plus souvent à une description abstraite sur laquelle la modélisation reste peu pertinente. Prenons les réseaux métaboliques dans les cellules : en l'absence d'imagerie sub-cellulaire détaillée, on ignore largement l'organisation spatio-temporelle des différents acteurs protéiques et moléculaires, pour se contenter d'un schéma de réactions. Or l'augmentation du nombre des partenaires dans un tel schéma conduit à une explosion de la combinatoire des fonctionnements possibles. Il est vraisemblable qu'une information spatio-temporelle précise conduirait en partie à réduire cette complexité, en mettant clairement en lumière des voies naturelles de fonctionnement codées par le positionnement spatial.

L'intérêt des réseaux cellulaires réside dans la perspective de disposer d'une information fonctionnelle et spatiale raisonnable via l'imagerie. En contrepartie, les 'briques de base' du réseau sont beaucoup plus complexes, et on doit aussi acquérir une connaissance approfondie de leur comportement individuel.

Le cerveau constitue l'exemple le plus fascinant d'un tel réseau de cellules. Pourtant, les résultats obtenus dans l'imagerie fonctionnelle cérébrale à grande échelle ne reposent pas pour l'instant de façon décisive sur une interaction avec la modélisation des fonctions, même si on peut faire des propositions intéressantes dans ce sens. On en est pour l'instant à bien définir des protocoles expérimentaux précis associés à telle ou telle fonction cognitive, et à regarder très en détail ce qui se passe fonctionnellement. Par ailleurs, on fait une cartographie des connexions aussi précise que la résolution de la manip le permet (~1mm). Notons qu'à cette échelle, de toute façon, la complexité du cerveau en tant que 'société cellulaire' nous dépasse complètement pour l'instant, et que le nombre de neurones que 'moyenne' un voxel (le pixel tridimensionnel donnant la résolution de l'expérience) est considérable. Or les neurones sont bien les éléments de base à partir desquels doit se construire une compréhension de l'activité collective, dont on reste assez éloigné.

Même en se plaçant à l'échelle d'un sous-réseau neuronal plus limité, les neurones présentent un inconvénient intrinsèque de complexité topologique : les arbres dendritiques sont difficiles à cartographier de façon détaillée, et les connexions peuvent s'étendre sur plusieurs millimètres. On est donc obligé de faire de nombreuses hypothèses simplificatrices pour fixer la 'carte' précise du réseau.

Par contre les systèmes de type sécrétoire (hypophyse, pancréas, glande salivaire ou surrénale) possèdent l'avantage de manifester des effets cellulaires collectifs physiologiques, et de posséder une structure plus facilement accessible expérimentalement.

Je me suis ainsi tourné vers le groupe de Patrice Mollard, au sein de l'Institut de Génomique Fonctionnelle dirigé par Joël Bockaert, qui travaille sur le système neuroendocrine à l'échelle cellulaire et multicellulaire. On a typiquement quelques centaines de milliers de cellules dans les structures de l'hypothalamus et de l'hypophyse de souris, que l'on regarde *in vivo* par imagerie optique. On a des informations spatiotemporelles à l'échelle de la milliseconde et de quelques microns, bref, on voit des détails à l'échelle de la structure des cellules, et on peut mesurer leur activité individuelle. Ces données seront simultanément analysées avec les profils d'hormones sécrétées par l'hypophyse, glande « maîtresse » contrôlant des fonctions de base de notre organisme (croissance, fertilité, lactation...).

Le premier problème de modélisation, le plus « basique » mais très important pour comprendre la physiologie de toute la structure, c'est la dynamique, à la fois électrophysiologique et moléculaire, d'une cellule individuelle. La variété des mécanismes mis en jeu dans les membranes cellulaires, les mécanismes de transduction des signaux chimiques spécifiques à chaque type de neurone, font qu'un gros travail de biologie moléculaire (gene arrays, SAGE...), de biochimie et de pharmacologie est actuellement effectué, pour être intégré au fur et à mesure dans une dynamique modèle en simplifiant de façon pertinente les différentes réponses. Ensuite, les acteurs étant en place, on passe à l'échelle du réseau.

Des outils expérimentaux nouveaux nous permettent d'avancer dans cette nouvelle étape. Le développement de lignées d'animaux transgéniques nous permet de rendre fluorescent séparément chaque type cellulaire particulier présent dans la glande. Grâce à l'imagerie, on s'approche donc rapidement d'une situation dans laquelle nous aurons accès (*ex vivo*) à la structure spatiale détaillée du réseau de cellules composant l'hypophyse, ainsi qu'à leur type. Cette 'hypophyse arc-en-ciel' (allusion aux différentes couleurs de fluorescence utilisées pour des types cellulaires distincts) peut être décrite à différents stades du développement, ouvrant ainsi la porte à la compréhension de la mise en place du réseau cellulaire, et aux mécanismes épigénétiques et génétiques qui le déterminent, par activation ou inactivation ciblée de certains gènes. Finalement, l'intégration de données fonctionnelles simplifiées décrivant les cellules individuelles permet de commencer à développer un modèle dynamique de la glande, via des simulations de type 'multi-agents', dont les prédictions seront à comparer aux données physiologiques obtenues *in vivo*.

On est donc ici dans un contexte où, de l'imagerie à la modélisation, les outils mathématiques peuvent jouer un rôle crucial dans la description quantitative des propriétés structurales et fonctionnelles d'un organe spécifique, et permettre ensuite sur cette base la simulation de sa physiologie.

Ce projet, qui a commencé en 2004-2005, réunit plusieurs laboratoires dans une collaboration internationale. Les équipes de Jacques Drouin (Laboratoire de Génétique moléculaire, Montréal, Canada), Iain Robinson (Division of Molecular Neuroendocrinology, NIMR-MRC, Mill Hill, Londres, UK) sont impliquées dans les aspects développementaux et génomiques, ainsi que dans le développement des animaux transgéniques. L'imagerie *in vivo* que nous avons développée nous permet déjà la visualisation du réseau cellulaire sécrétant l'hormone de croissance, ainsi que le flux vasculaire dans la glande. Les étapes d'histologie à grande échelle pour les différents types cellulaires sont en cours, et la description détaillée du réseau devrait devenir accessible au cours de l'année 2007. Nous espérons sous cinq ans parvenir à une première description fonctionnelle de l'hypophyse intégrant les différentes échelles de description.

Les mèmes, supports de l'évolution culturelle

Par Pascal Jouxte
<http://www.memetique.org/>

En deux mots : Depuis 25 ans, des chercheurs de toutes origines se demandent s'il pourrait exister un équivalent culturel de l'ADN, c'est-à-dire une forme de réplicateur qui transmette par un processus de contagion ou d'imitation les solutions inventées çà et là par la culture humaine.

Le mot mème : d'où vient-il ? Il apparaît dans le livre de l'éthologiste Richard Dawkins *Le gène égoïste*, 1976, chapitre 11. Dawkins choisit un monosyllabe ressemblant à gène, mais rappelant les idées de mémoire, de ressemblance (du français « même ») et d'imitation, ainsi que l'idée de plus petite quantité d'information. Bref, un mot génial, bien trouvé, imparable. Un pur réplicateur qui s'ancre davantage dans votre mémoire chaque fois que vous essayez de l'oublier !

La possibilité que la sphère des humanités ouvre sa porte au modèle darwinien n'est pas sortie d'un chapeau. On la trouve par exemple chez Monod, dans *Le hasard et la nécessité*. Elle est même bien plus ancienne que cela, puisque la formule remonte à Démocrite. Le vivant s'étend au-delà de l'aventure biologique liée à l'ADN. L'idée d'un monde des idées, ou noosphère, a été introduite par l'anthropologue Teilhard de Chardin. L'hypothèse que les lois de la vie peuvent aussi s'appliquer aux machines, et à des créatures purement faites d'information, se trouve à la base des intuitions bouleversantes de chercheurs comme A.Turing et J.Von Neumann, qu'on peut considérer comme les pères de l'informatique moderne. L'épistémologie évolutionnaire de Friedrich Von Hayek en est une autre illustration.

Mais surtout, l'expérience quotidienne nous montre une divergence et une accélération très voyante du fait humain, dans sa séparation d'avec la nature : Agriculture, urbanisation, transports, sont visibles de l'espace, tout comme y sont audibles nos émissions de radio, sans parler des traces que nous conservons, nos livres, codes de lois, arts, technologies, religions...

Notre cerveau consomme plus d'un quart de l'énergie du corps au repos. Ce pourcentage qui était relativement stable chez les préhominiens, a doublé « d'un coup » en à peine un million d'années.

On ne sait plus exactement si c'est l'homme qui a propulsé la culture ou si c'est la culture qui a tiré l'homme hors de son origine purement animale, vers autre chose. L'homme a évolué plus vite, grâce à ses outils. L'étude de l'hominisation révèle régulièrement une co-évolution, un partenariat. Un entraînement mutuel entre le biologique et le culturel. Qui dit mutuel, dit deux.

Leroi-Gourhan nous raconte la co-évolution de l'outil, du langage et de la morphologie (face et main). Lévy-Strauss nous parle de l'autonomie de l'organisation culturelle, par-delà les différences ethniques. Durkheim revendique l'irréductibilité du fait social à la biologie.

Parallèlement, l'observation des sociétés animales démontre que la nature produit des phénomènes collectifs, abstraits, qui vont bien au-delà des corps. La sociobiologie animale s'est concentrée sur les sociétés d'insectes et de primates, montrant que des comportements sociaux très évolués relèvent du phénotype étendu, c'est-à-dire du travail à distance de l'ADN (techniques, langage, répartition des tâches, schémas de coopération).

Certaines extensions, très radicales, de la sociobiologie à l'homme voudraient que toutes nos capacités soient codées génétiquement, et donc que des pratiques culturelles comme l'architecture, le droit, l'économie ou l'art ne soient qu'un phénotype étendu de l'homme. Ces travaux ont été rejetés surtout du fait de l'attitude de certains auteurs qui refusaient toute existence aux sciences sociales.

Aujourd'hui, la volonté de réduire les comportements à leurs avantages évolutionnaires biologiques s'est recentrée sur le fonctionnement du cerveau par le biais de la psychologie évolutionniste. On admet maintenant que le cerveau est modulaire, que le schéma général de ses modules est inscrit dans les gènes, mais que leur construction se fait sur la base des flux cognitifs, des apports d'expériences qui sont vécus par l'enfant au cours des premières années de sa vie. D'où le fait que chaque personne soit unique et que les gens pensent si différemment selon leur culture, alors que toutes les principales aptitudes du cerveau font appel à des zones situées à la même place et selon le même schéma chez tous les peuples de la terre.

On peut citer une foule d'exemples (les travaux de Steve Pinker en sont pleins, notamment) de façons d'agir ou de penser qui ont clairement eu au cours des âges des effets bénéfiques sur la survie des personnes qui étaient naturellement aptes à les pratiquer. La peur du noir, la capacité de déguiser ses motivations, le désir de paraître riche, et même des choses plus subtiles comme la tendance à croire à une continuation de la vie après la mort, à une providence qui aide, à une vie dans l'invisible, et jusqu'au réflexe intellectuel consistant à supposer un but à toute chose, tout cela peut s'expliquer par des avantages évolutionnaires accumulés par nos ancêtres.

Cependant, il existe une portabilité incontestable des idées, des modes de vie, des techniques, bref des solutions de la culture, et il existe également des compétitions entre les modèles (exemples : commerce, mode, politique), le tout se jouant sur des échelles de temps qui laissent « le vieux gène essoufflé loin derrière ».

D'où l'hypothèse révolutionnaire d'un autre réplicateur, indépendant de l'ADN, qui serait apparu à la racine même du processus d'homínisation.

Les arguments avancés par Susan Blackmore dans *the meme machine* sont très éloquentes : La limitation des naissances, une pression culturelle qui ne va pas dans le sens des gènes, Le développement du cerveau, ce mangeur d'énergie dangereux pour la mère et son enfant, qui n'a d'utilité que pour transmettre des informations, des méthodes, bref des mèmes, alors que d'autres primates survivent très bien avec un organe beaucoup moins gourmand, L'apparition du langage en prolongement du grooming, pratique tribale du soin mutuel, c'est-à-dire sans finalité autre que de maintenir un lien, et avec l'imitation, l'apparition naturelle de règles, de complexité, d'une grammaire.

Mon argument, inspiré d'une formule de Luca Cavalli-Sforza : Aujourd'hui, l'évolution naturelle de l'homme est terminée car tous les facteurs naturels de sélection sont sous contrôle culturel. Tous les facteurs qui pourraient influencer la fécondité ou la mortalité infantile sont soit maîtrisés soit dépendants de facteurs géopolitiques, économiques ou religieux. En revanche, la culture, elle, continue à évoluer : les lois évoluent, mais aussi l'art, les technologies, les réseaux de communication, les structures de pouvoir, et les systèmes de valeurs qui deviennent de plus en plus intégrateurs. Il est pour moi raisonnable d'admettre l'existence d'un réplicateur autonome de la culture.

Mais alors, le grand changement, c'est que les mèmes et les solutions qui leurs servent de créatures, donc de machines de survie, évoluent pour leur propre compte, en exploitant le terrain constitué par les réseaux de cerveaux humains, mais indépendamment, et parfois au mépris des besoins de leurs hôtes biologiques.

Ce sont des solutions mémétiquement évoluées qui sont aujourd'hui capables de breveter un génome. Il en va de même des religions et des systèmes politiques qui tuent. La plus majestueuse de toutes ces solutions s'appelle Internet, le cerveau global.

Pour se propager à l'aise, rien de tel qu'un réseau. Comme les insulaires du pacifique ont maillé leur réseau à grand coup de pagaies, les mèmes nous tissent et nous relient comme autant de passerelles. Il est parfaitement logique, du "point de vue" du deuxième réplicateur - bien que celui-ci reste dénué d'intention - d'assurer une plus grande continuité dans le tissu de son substrat biologique (les humains),

tout comme les habitants de Venise ont construit des ponts aux quatre coins de leur cité... Tout ce qui relie les humains est bon pour les mêmes.

Il est logique, dans la même optique, de coder de façon de plus en plus digitalisée tous les modèles qui doivent être transmis, stockés et copiés. C'est ainsi que le monde se transforme de plus en plus en un vaste Leroy-Merlin culturel, au sein duquel il devient chaque jour plus facile de reproduire du prêt à penser, du prêt à vivre, du prêt à être.

A mesure que l'on se familiarise avec l'hypothèse méméticienne, il devient évident qu'elle invite à un combat, à une résistance et à un dépassement. Elle nous montre que des modèles peuvent se reproduire dans le tissu social jusqu'à devenir dominant sans avoir une quelconque valeur de vérité ou d'humanité.

Elle nous pose des questions comme : que valent nos certitudes ?
De quel droit pouvons-nous imposer nos convictions et notre façon de vivre ?
Qu'est-ce que je peux appeler « moi » ?
Comment puis-je dire que « je pense » ?

Ce n'est que le commencement d'un nouveau grand chantier de la pensée humaine, peut-être le plus grand jamais ouvert. Nous n'en sommes qu'aux fondations.

Note de Gilbert Belaubre :

Si la propagation des idées au sein d'un groupe est un sujet du plus haut intérêt, je crains que le texte de Monsieur Pascal Jouxel n'introduise un contresens.

L'étude biologique, anthropologique et sociologique de la communication humaine me semble être la seule voie de la recherche scientifique. « L'initiative » laissée implicitement aux idées de se propager comme les microbes ou les lapins relève peut-être d'une idéologie animiste. A ce titre, elle serait justiciables de l'investigation anthropologique. Il y a là des idées, peut-être fantaisistes, comme l'idée du gène égoïste, mais leur contagion ne m'a pas encore atteint.