

BULLETIN N° 98
ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 11 octobre 2005

Assemblée Générale

Elections

Perspectives pour l'année 2005-2006

Conférence du Pr. Jacques VARET ,

Directeur de la Prospective au Bureau de Recherches Géologiques et Minières sur :

« Risques majeurs : fatalité géophysique / responsabilité humaine »

Prochaine séance : le Mardi 8 novembre 2005 :

Conférence de Paul BOURGINE,

Directeur de l'Institut des Systèmes Complexes de Paris.

« Introduction à la problématique de la complexité »

(à 18 h.)

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

PRESIDENT : Michel GONDRAN
SECRETARE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN
SECRETARE GENERAL ADJOINT :
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 FONDATEUR
 DOCTEUR Lucien LEVY (†).
PRESIDENT D'HONNEUR
 Gilbert BELAUBRE
SECRETARE GENERAL D'HONNEUR
 Pr. P. LIACOPOULOS

octobre 2005

N°98

TABLE DES MATIERES

- P. 3 Compte-rendu de la séance du 11 octobre 2005 - *Assemblée générale* -
- P. 9 Conférence du Pr. Jacques VARET
- P. 10 Documents

Prochaine séance : Mardi 8 novembre 2005,
 MSH, salle 215

Conférence de Paul BOURGINE, Directeur de l'Institut des
 Systèmes Complexes de Paris.

« Introduction à la problématique de la
 complexité »
 (à 18 h.)

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

Séance du
Mardi 11 octobre 2005

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

La séance est ouverte à 18 h. 00 sous la Présidence de Gilbert BELAUBRE et en la présence de nos collègues Jacques BARBIER, François BEGON, Bruno BLONDEL , Françoise DUTHEIL, Michel GONDRAN, Henri GULAND, Irène HERPE-LITWIN, Pierre MARCHAIS, Pierre NABET de Nancy, Emmanuel NUNEZ, Jean POIRIER Étaient excusés : Noëlle CAGNARD, Gilles COHEN-TANNOUDI, Marie-Louise LABAT, Gérard LEVY et Alain STAHL.

Était invité Le Pr. Jacques VARET, du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) sollicité par nous pour une conférence sur « Risques majeurs : fatalité géophysique / responsabilité humaine » .

Préalablement au déroulement de l'Ordre du jour, notre Président a la grande tristesse de nous faire part du décès de notre Collègue Trésorier général d'honneur, Henri NARGEOLET.

Le premier point à l'ordre du jour appelait la tenue de l'Assemblée Générale annuelle de l'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences.

ASSEMBLEE GENERALE 2005

L'Assemblée est ouverte par notre Président Gilbert BELAUBRE , avec le concours du Trésorier Général Bruno BLONDEL et du Secrétaire Général, Michel GONDRAN. Notre collègue René DARS , Président de la Section Nice-Côte d'Azur, empêché, a adressé au Président son rapport moral que ce dernier a intégré au rapport général.

Tous les membres présents ou ayant envoyé un pouvoir sont à jour de leurs cotisations. Et peuvent prendre part au vote. Sur le rappel du Pr. Jean POIRIER la feuille de présence circule.

18 pouvoirs ont été reçus.

Par Gilbert Belaubre : 6

Par Irène Herpe-Litwin : 10

Par Bruno Blondel : 1

Par Emmanuel Nunez : 1

Gilbert BELAUBRE donne lecture du rapport moral. .

RAPPORT MORAL

L'année 2004-2005 a été menée d'après les modes de travail adoptés, tant au Siège qu'à la Section « Nice Côte d'Azur ».

Au siège

10 séances ont été tenues, avec une participation moyenne de quatorze personnes. Les travaux ont été axés sur les thèmes retenus annuellement et développés dans les congrès. Il s'agit, pour cette année, des derniers préparatifs du congrès international sur les Fractales, et de l'élaboration du congrès « Physique et Conscience ».

Le principe de l'organisation du congrès international sur les Fractales en l'honneur de B. Mandelbrot, dont l'idée avait été lancée durant l'été 2003 par notre collègue François Bégon, ce dernier a rassemblé l'information et a organisé le programme tandis que Gilbert BELAUBRE établissait les contacts avec le Pr. Benoît Mandelbrot. Le développement du projet s'est poursuivi avec l'appui de notre collègue Jacques Elkeslassy et de sa Société Régimédia. Nous avons rencontré des difficultés dans les inscriptions, mais aussi dans la recherche de subventions. Grâce à notre collègue François Bégon, la Division Asset Management du Crédit Agricole nous a octroyé 3000 €. Grâce à Michel Gondran, nous avons reçu 3000 € de l'INRIA. Grâce à notre collègue Philippe Tilloy, nous avons vu de nombreux étudiants dans une salle comble. Ce congrès, tenu dans le Grand Amphithéâtre de la Faculté de Médecine Necker grâce à l'appui du Pr. Christian Hervé, les 12 et 13 Novembre 2004, a donc été un succès. Une conférence de presse a été organisée le 8 Novembre, à laquelle assistaient Jean-Pierre Kahane, David Ruelle, Paul Malliavin et le regretté Hubert Curien, décédé deux mois plus tard.

Les textes des communications ont été intégralement recueillis et mis en forme par Michel Gondran et Irène Herpe-Litwin. Ils seront publiés dans les tout prochains mois. Ils forment un volumineux ouvrage de plus de 300 pages et couvrent tout le champ scientifique « macroscopique »

Dès l'automne 2004, le projet de congrès « Physique et Conscience » a été lancé. Le but avoué dès le départ était d'organiser ce congrès comme dernier acte de l'Année Mondiale de la Physique en France. Grâce à notre collègue Gilles Cohen-Tannoudji, nous avons reçu l'accord des institutions organisatrices de l'année mondiale : Académie des Sciences, Société Française de Physique et Ministère de la Recherche. Ce dernier met à notre disposition les amphithéâtres du Carré des Sciences (ancienne Ecole Polytechnique), où le congrès se tiendra les 9 et 10 Décembre prochains.

Tous les intervenants que nous avons contactés prendront part au congrès. Seul, Le Pr. - Dr. Wolf Singer, avec lequel nous avons établi des liens amicaux lors du congrès 2002 « Biologie et Conscience », a dû renoncer récemment, étant retenu par une réunion scientifique gouvernementale à cette date. Nous souhaitons l'honorer particulièrement pour l'ensemble de ses travaux.

Toutes les séances de l'année ont été consacrées à l'accueil de personnalités devant intervenir lors du congrès, dont le programme a été diffusé dans le bulletin de Septembre 2005.

Aux termes de notre engagement vis à vis du Ministère, ce congrès sera gratuit. Nous devons donc distribuer avec précision les bulletins d'entrée. Les inscriptions seront reçues à partir du 20 Octobre.

La gratuité du congrès nous impose de recueillir des subventions. Nous espérons des appuis financiers de la Mairie de Paris, du CEA et du CNRS. Nous sollicitons également la Région.

A l'occasion du congrès, les actes du congrès 2002 seront édités sous la forme d'un « Tome I ». Les textes ont été rassemblés par Gilbert Belaubre avec l'appui de Pierre Marchais, et mis en forme avec le concours de Noëlle Cagnard. G. Belaubre a rédigé une introduction. Le Pr. G. Edelman nous ayant précisé dès le départ qu'il ne pourrait pas nous donner un texte original, nous avons exploité l'enregistrement de sa conférence. En

effet, celle-ci a le mérite de faire en quelques pages un survol complet de l'œuvre d'Edelman. Cet important travail a été mené à bien par Irène Herpe-Litwin.

L'ouvrage comporte deux parties : un ensemble de cinq articles consacrés aux pathologies du système nerveux central et aux pathologies mentales, exposées par des cliniciens ; un ensemble de quatre textes concernant la structure et le fonctionnement du système nerveux central et l'approche neuronale de la conscience. Parallèlement, un texte sur les récentes avancées en Intelligence Artificielle clôture ce premier panorama.

Section Nice-Côte d'Azur.

La Section Nice Côte d'Azur a tenu 12 séances avec une participation moyenne de treize personnes.

Le colloque « La science en mouvement », tenu le 3 Avril 2004, a eu des conséquences au niveau départemental avec l'organisation

- d'une Académie d'Eté à St Etienne de Tinée en septembre 2004, à l'image de celle qui existe à Aspen (Colorado) et qui a reçu le soutien de M. Christian Estrosi, Président du Conseil Général. La construction d'une salle adaptée est promise par le Président Estrosi. Une seconde Académie d'Eté a eu lieu au même endroit en septembre 2005.

- De l'Institut Robert Hooke, de culture scientifique, à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, destiné à développer et expérimenter un enseignement « culturel » des sciences. Une exposition itinérante sur « Le mouvement » a eu lieu en 2004-2005.

- La création d'une association « La Maison de la Science » à Nice, destinée à faire mieux connaître la science aux professeurs du secondaire, à leurs élèves et aux publics. Le président du Conseil d'administration en est notre confrère, le Recteur René Blanchet . Notre autre confrère, le professeur Jean-Pierre Delmont préside le Conseil scientifique en cours de formation. Le lieu d'implantation de cette « Maison de la Science » n'a pas encore été défini.

- Nous avons participé aux journées de « La Science en fête » en automne 2004 et notre prochain colloque « Les peurs de notre temps » se tiendra durant ces journées en 2005.

- Nous avons accueilli, en février 2004, un nouveau membre, le Recteur René Blanchet, géologue, ancien Recteur de l'Académie de Paris ; en octobre, Gérard Iooss, Professeur des Universités – mathématiques -, membre correspondant de l'Académie des Sciences, Professeur à l'IUF ; Yves Ignazi, ingénieur conseil (gestion des ressources humaines et des organisations), Président du CNAM-PACA ; et en janvier 2005, Michel Lazdunski, Professeur des Universités – biochimie, Directeur de l'Institut de pharmacologie moléculaire et cellulaire CNRS, membre de l'Institut.

- Publications : les actes des colloques « Science et jeunesse » et « La Science en mouvement » que nous avons organisés en 2003 sont publiés et distribués par les Presses Universitaires de France :

Nous avons reçu un soutien constant de la Mairie de Nice qui nous a permis de fonctionner grâce à ses subventions. Nous avons essayé de trouver de l'aide également auprès du Conseil Général, du Conseil Régional et de la Chambre de Commerce et d'Industrie pour nous aider à publier les actes des colloques.

L'année en cours a donné lieu à des communications , en particulier celle du Professeur Jean Aubouin sur la méthode et la rigueur scientifiques, à propos de la publication d'un texte de M. Crichton, et celle du Professeur Guy Darcourt, à propos des interventions chirurgicales sur le cerveau dans le traitement des troubles obsessionnels-compulsifs , qui donnent lieu actuellement à des protocoles précis pour reprendre ces recherches, abandonnées depuis plusieurs décennies. Enfin, le Recteur René Blanchet est intervenu sur le problème de la protection de la propriété scientifique et des solutions actuelles qui conjugueraient protection et accès immédiat

aux publications. « La publication scientifique à accès libre », son long article très documenté , et particulièrement développé dans le domaine des sciences de la terre qui est le sien, a été publié dans le N° 96 du bulletin.

La section de Nice organise cette année un colloque sur « Les peurs », le 14 Octobre. Le sujet a été retenu de préférence au projet initial sur « Le principe de précaution ». Précaution et prévention sont des sujets proches mais disjoints. La prévention concerne les effets néfastes de phénomènes naturels ou étrangers à l'intervention humaine. La précaution vise les risques encourus à l'occasion de l'activité humaine, et sur ce point, toutes les gradations de la « précaution » s'expriment, depuis le « risque zéro » jusqu'au « risque calculé ». La notion de « risque acceptable » n'est pas près de rentrer dans un consensus, parce que le caractère émotionnel de certaines attitudes biaise l'approche raisonnée. L'analyse des phobies en revanche permet d'apprécier l'origine et la portée des attitudes dominées par l'émotion. C'est le thème retenu pour ce colloque.

Candidatures et admissions à l'Académie.

A Paris, une candidature a été rejetée

Ont été admis :

DATE	LIEU	NOM
Novembre 2004	Paris	Hervé AUBERT
Janvier 2005	Nice	Michel LAZDUNSKI
Fevrier 2005	Paris	Marie-Louise LABAT
Mars 2005	Paris	Noëlle Cagnard (membre adhérent).

Création de la Section Metz-Nancy-Luxembourg..

A l'initiative de notre collègue le Pr. Pierre Nabet, les bases d'une nouvelle section ont été établies à Nancy. Cette section vise à rassembler des scientifiques de tous les domaines scientifiques présents sur le pôle Metz-Vandoeuvre-Nancy. Les Statuts, ainsi que les statuts de l'Académie et son Règlement Intérieur, seront remises au Professeur Nabet sur un vote favorable de l'Assemblée Générale.

Votes sur les rapports moraux

Les deux rapports moraux ainsi que la création de la nouvelle section de Metz-Nancy ont été soumis au vote et ont été adoptés à l'unanimité des présents et des représentés. A l'issue du vote, le Président a remis au Dr. Pierre Nabet les Statuts et les documents lui permettant de créer la Section Nancy-Metz-Luxembourg.

RAPPORT FINANCIER

Le rapport financier présenté par le Trésorier Bruno BLONDEL a été préalablement vérifié par notre collègue Irène HERPE-LITWIN.

Il se présente ainsi :

Solde au départ de l'exercice.....	8.578 ;83 €	(12 Octobre 2004).
Recettes de l'exercice.....	20.630 €	
Dépenses de l'exercice.....	13.386,01 €	
Solde à la clôture.....	15.822,82 €	

Le Trésorier Général rappelle l'origine des dépenses et des recettes, dont la majeure partie est liée à l'organisation des congrès. L'édition et l'expédition du Bulletin reste un poste modeste (moins de 2000 Euros , et nous bénéficions de l'appui très soutenu de notre collègue le Dr.Jacques Elkeslassy pour le routage. Un certain nombre de nos collègues le reçoivent désormais dans sa version électronique. Mais nous continuerons l'édition papier pour la diffusion aux organismes scientifiques et publics.

L'état des finances conduit le Trésorier Général à proposer le maintien de la cotisation à 60 Euros.

Le rapport financier, soumis au vote est accepté à l'unanimité des présents et des représentés.

La cotisation pour 2005-2006 est donc fixée à 60€et doit être adressée au Trésorier :

Bruno BLONDEL
Les Jardins de Bures Pavillon 65
 91440 Bures s/Yvette

ELECTION DU NOUVEAU BUREAU

Gilbert BELAUBRE, actuellement Président de l'AEIS, nous rappelle qu'il avait déjà formulé l'an passé son intention de renoncer à solliciter un nouveau mandat de Président de l'Académie. Cette année, il réitère son intention et sollicite vivement des candidatures au poste de Président et aux différents postes du Bureau.

Nouveau Président

Michel GONDRAN, actuel Secrétaire général, se révèle être le seul candidat. Michel GONDRAN ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Conseiller scientifique d'EDF, Professeur de Mathématiques chargé de cours à l'Ecole Polytechnique et dans d'autres grandes écoles, a entrepris depuis quelques années une recherche fondamentale en physique quantique. Les moyens techniques pour appréhender la réalité quantique, et la capacité technique à provoquer des phénomènes quantiques sur des matériaux de taille accessible aux mesures conduit aujourd'hui à une réorientation de la pensée quantique, et c'est cette voie que Michel Gondran poursuit . Cette recherche lui a interdit jusqu'à présent de prendre en charge une responsabilité effective dans les travaux de l'Académie. Il a accepté d'assurer le Secrétariat Général avec l'appui essentiel d'Irène Herpe-Litwin. Compte tenu de ses nombreuses relations dans les milieux scientifiques et de ses hautes compétences, G. Belaubre l'a vivement sollicité pour lui succéder. D'un commun accord, ils ont envisagé que , sous réserve d'un vote favorable de l'Assemblée Générale, Michel Gondran prenne la présidence de l'AEIS, la passation de fonctions s'étalant sur les trois derniers mois de l'année.

Après un vote à bulletin secret, Michel GONDRAN est élu à l'unanimité des votants moins une voix .

Notre collègue, Irène HERPE-LITWIN suggère à ce propos que Gilbert BELAUBRE reste notre « Président d'Honneur ». Cette proposition a été adoptée à l'unanimité des votants moins une voix.

Autres Membres du Bureau

Se présentent en tant que:

- Secrétaire général : Irène HERPE-LITWIN
- Trésorier : Bruno BLONDEL
- Conseillers Scientifiques pour les sciences de la matière : Gilles COHEN-TANNOUDJI
Conseiller scientifique pour les sciences de la vie : François BEGON.

Sur proposition du Président, le Bureau est élu à mains levées à l'unanimité des votants.

Le second point à l'Ordre du Jour appelle la conférence du Pr. Jacques VARET sur « Les Risques majeurs : Fatalité géophysique / Responsabilité humaine ».

CONFERENCE DU Pr. Jacques VARET

« Risques majeurs : fatalité géophysique / responsabilité humaine »

Le thème du futur colloque de 2006 sera dédié aux Sciences de la Terre. A cette occasion Le Pr. Jacques VARET, Directeur de la Prospective au BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), nous présente en introduction une vision en miroir entre d'une part les fatalités géophysiques indépendantes de toute activité humaine et d'autre part les risques liés soit à l'activité humaine ou même à des défauts d'anticipation de risques naturels.

Il définit le risque comme le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité . La vulnérabilité implique une responsabilité humaine. Par exemple : doit-on construire en zone sismique ?

L'aléa peut-être de nature purement physique comme un phénomène tellurique. Il n'implique aucune responsabilité humaine. Cependant, la responsabilité humaine est impliquée dans la connaissance de cet aléa.

Dans le cas d'un aléa hydro-météorologique, la responsabilité humaine ou anthropique peut parfois être mise en cause au-delà des simples aléas solaires comme dans la production de gaz à effet de serre.

Certains risques peuvent combiner des phénomènes telluriques purement aléatoires et des perturbations météorologiques à causalité mixte, naturelle et anthropique et un défaut d'anticipation . Ceci entraîne la nécessité d'une réflexion dans divers domaines :

- aménagement du territoire : par exemple éviter les constructions en zone sismique
- mesures de protection : par exemple la construction de digues de protection contre les inondations
- une surveillance des risques au sol et par satellite
- Prévoir une gestion des crises : alerte des personnes concernées
- Eduquer le public

Quelques organismes sont déjà en charge de la surveillance :

- l'Institut de physique du globe
- la DATAR (Direction Aménagement du Territoire et des Régions)
- Le GIEC (Groupement International d'Etude du climat)
- La SFPCN (Société Française de Protection Contre les Risques Naturels)

En conclusion, le conférencier déclare que beaucoup d'efforts ont été faits dans le domaine des sciences « dures », mais beaucoup reste à faire dans le domaine des sciences humaines et sociales. Il déclare qu'une prise de conscience de l'éthique du risque est indispensable.

Après ce riche débat, la séance a été levée à 20 heures.

Bien amicalement à vous.

Irène HERPE-LITWIN.

Documents

- P. 11 : Différentes sortes de complexité, Extraits du livre de Murray GELL-MANN « *Le Quark et le Jaguar* ». Murray GELL-MANN, prix Nobel de Physique 1969 pour sa théorie des Quarks s'interroge sur les divers aspects de la complexité.
- P. 17 : Extraits du site de Jean ZIN, sur « La complexité et son Idéologie » -Le savoir de notre ignorance et les différentes complexités. Une approche épistémologique de la complexité.
- P. 23 : En 2050 notre esprit sera-t-il immortel grâce aux machines ? René TREGOUET dans son éditorial du n° 355 de la revue électronique @ RT Flash du 21 au 27 octobre 2005, s'attaque au problème de la futurologie (scientifique !).
- P. 25 : En anglais l'article source du journal britannique l'OBSERVER
- P. 27 : En relation avec la dernière conférence du Pr. Jacques VARET, un article du journal *Le Monde* du 22/10/05, «Les glaces du Groenland et de l'Antarctique fondent-elles ou s'accumulent-elles ?

Différentes sortes de complexité
Extraits du livre de Murray GELL-MANN
« Le Quark et le Jaguar »

Qu'entend-on réellement par les termes opposés de simplicité et de complexité ? En quel sens la gravitation einsteinienne est-elle simple alors qu'un poisson rouge est complexe? Ce ne sont pas là des questions faciles. Définir « simple » n'est pas simple, il est probable qu'aucun concept unique de complexité puisse à lui seul saisir les notions intuitives de ce que devrait signifier le mot. Il se peut qu'il faille définir plusieurs sortes de complexités différentes, certaines sont peut-être encore dans les limbes.

Quels sont les cas où se pose la question d'une définition de la complexité ? Il y a le souci de l'informaticien quant au temps que demande un ordinateur pour résoudre un type donné de problème, Afin d'éviter que ce temps demeure sous la dépendance de l'ingéniosité du programmeur, les scientifiques se concentrent sur le temps de résolution le plus court possible, ce que l'on désigne sous le nom de « complexité calculatoire » du problème. Cependant, ce temps minimal dépend encore du choix de l'ordinateur. Et cette « dépendance du contexte » est un obstacle permanent aux efforts pour définir les différentes sortes de complexité. Mais l'informaticien s'intéresse particulièrement à ce qui se passe un ensemble de problèmes qui ne diffèrent que par la taille ; en outre, sa préoccupation première est ce qui arrive à la complexité calculatoire lorsque la taille du problème ne cesse de croître, sans limite. Comment le temps de solution minimal peut-il dépendre de la taille quand celle-ci tend vers l'infini ? La réponse à ce genre de question peut être indépendante des détails de l'ordinateur.

La notion de complexité calculatoire a fait la preuve de son utilité mais elle ne correspond pas étroitement à ce que nous entendons habituellement lorsque nous employons le mot complexe, dans des expressions comme « l'intrigue hautement complexe d'un récit » ou « la structure complexe d'une organisation ». Dans ces contextes, nous serions plus intéressés par la longueur du message qu'exigerait la description de certaines propriétés du système en question que par le temps que mettrait un ordinateur pour résoudre un problème donné.

On a ainsi débattu pendant des décennies en science de l'écologie sur la question de savoir si des écosystèmes « complexes » comme les forêts tropicales sont plus ou moins résilients ¹ que des systèmes relativement « simples » tels que les forêts d'altitude de chênes ou de conifères que l'on trouve dans les montagnes San Gabriel derrière Pasadena. Ici, la résilience fait référence à la probabilité de survivre à des perturbations majeures (ou même d'en tirer profit), dues au changement climatique, au feu, ou à quelque autre modification de l'environnement, d'origine humaine ou non. Actuellement, paraissent avoir le dessus ceux des spécialistes de l'écologie qui affirment que le système le plus complexe est dans une certaine mesure le plus résilient. Mais qu'entendent-ils par simple et complexe ? La réponse est certainement en relation quelconque avec la longueur d'une description de chacune des forêts.

Afin d'aboutir à une notion très élémentaire de la complexité pour les Forêts, les écologistes doivent compter le nombre d'espèces d'arbres dans chaque type (moins d'une douzaine dans une forêt typique de haute montagne de la zone tempérée contre des centaines dans une forêt tropicale des basses terres). Il leur faut aussi compter le nombre d'espèces d'oiseaux et de mammifères et, là encore, la comparaison serait grandement en faveur des basses terres tropicales. Avec les insectes, le résultat serait encore plus frappant- imaginez le nombre d'espèces d'insectes que peut receler une forêt pluviale humide. (Ce nombre a toujours été considéré comme très grand, mais les estimations récentes l'ont encore augmenté considérablement. À la suite des travaux de Terry Erwis, on a mené des expériences dans lesquelles étaient tués et récoltés tous les insectes d'un seul arbre de la forêt pluviale tropicale. Le nombre d'espèces trouvé s'est révélé de l'ordre de deux fois supérieur aux estimations antérieures, et beaucoup d'espèces étaient nouvelles pour la science.)

¹ Résilience (lit *resiliens* saucer en arrière), terme d'écologie générale, capacité dynamique d'un écosystème à revenir à l'état d'équilibre après une perturbation (*on* emploie souvent le terme d'homéostasie également) Le terme anglais de *résilient* signifie plus généralement résistance

Il ne suffit pas seulement de compter les espèces, Les écologistes devraient également inclure les interactions entre les organismes dans la forêt, entre proie et prédateur, hôte et parasite, pollinisateur et pollinisé et ainsi de suite.

Le niveau de grain²

Mais jusqu'à quel niveau de détail devraient-ils compter? Faudrait-il prendre en compte les micro-organismes, et même les virus? Considérer les interactions les plus subtiles au même titre que les plus manifestes? A l'évidence, il faut s'arrêter quelque part.

Lorsque l'on définit la complexité, il est donc toujours nécessaire de spécifier un niveau de détail où l'on s'arrête dans la description du système, ignorant les détails les plus fins. Les physiciens appellent cela l'« agrandissement ». L'image qui a inspiré cette expression est probablement celle du grain en photographie. Lorsque le détail d'une photographie est si petit qu'il nécessite un très fort agrandissement pour être identifié, l'agrandissement peut faire apparaître les grains individuels qui composent la photographie. Au lieu d'une image claire du détail, on ne verra que quelques points n'en donnant qu'une représentation grossière. *Blow-Up*, le titre du film d'Antonioni, fait précisément allusion à un agrandissement de ce genre. Le grain d'une photographie définit une limite à la quantité d'information qu'elle peut fournir. Lorsque le film a un très gros grain, le mieux que puisse faire l'image dans son ensemble est de donner une impression sommaire de ce qui a été photographié; elle présente un très fort agrandissement. Si un satellite espion prend une image d'un système d'armes « complexe » jusque-là inconnu, la mesure de la complexité qui pourra lui être attribuée dépendra du grain de la photographie.

Une fois établie l'importance de l'agrandissement, nous restons confrontés à la question de savoir comment définir la complexité du système à l'étude. Qu'est-ce qui caractérise, par exemple une structure simple ou une structure complexe de communication entre un certain nombre de gens (disons N personnes)? C'est là question qui peut se poser à un psychologue ou à un analyste des organisations essayant de comparer le degré d'efficacité ou de rapidité avec lequel un problème est résolu par N personnes sous différentes conditions de communication. À l'un des extrêmes (appelons-le cas A), chaque personne travaille seule et il n'y a aucune communication. À l'autre extrême (appelons-le cas F), chaque personne est libre de communiquer avec chacune des autres. Le cas A est évidemment simple. Le cas F est-il plus complexe ou presque aussi simple que le cas A?

En ce qui concerne le niveau de détail (l'agrandissement), supposez que toutes les personnes sont traitées de manière identique, qu'elles n'ont aucune caractéristique individuelle et sont représentées par de simples points sur un diagramme, de telle manière que les positions des points n'aient aucune importance, et que tous les points soient interchangeable. La communication entre deux personnes quelconques est soit permise soit interdite, sans gradation intermédiaire, et chaque lien de communication est représenté par un trait (sans direction) reliant deux points. Le diagramme qui en résulte est ce que les mathématiciens appellent un « graphe non orienté ».

La longueur de la description

Avec le niveau de détail ainsi spécifié il est possible d'explorer ce que l'on entend par complexité d'une structure de connexion. Prenons tout d'abord le cas d'un petit nombre de points, disons huit ($N = 8$). Il est alors facile de dessiner quelques-unes des structures, dont certaines évidentes. Les diagrammes de la figure 3 montrent un certain nombre de structures possibles entre huit individus. En A, aucun des points n'est connecté à un autre. En B, certains points, mais pas tous, ont des connexions. En C, tous les points sont connectés, mais pas de toutes les manières possibles. En D, les connexions présentes en C sont absentes, et sont présentes celles qui sont absentes en C. D est ce que nous pourrions appeler le complément de C, et inversement. De la même manière, E et B sont compléments l'un de l'autre, tout comme le sont F et A: le diagramme A n'a aucune connexion alors que P présente toutes les connexions possibles. Quelles sont les figures auxquelles nous allons attribuer une complexité plus élevée que les autres?

²*Coarse grain*: il existe désormais un néologisme pour cette expression dans le "domaine physique": « agrandissement » (cf. la traduction de P Davies dir., *La Nouvelle "Physique*, par F Balibar & V. Fleury. Paris. Flammarion, 1993, p.493}, mais nous en réservons l'usage à certaines occurrences afin de garder sa portée à k métaphore photographique

Tout le monde sera d'accord pour dire que A, sans aucune connexion, est simple, alors que B, avec certaines connexions, est plus complexe ou moins simple que A. Mais qu'en est-il des autres ? Un cas particulièrement intéressant est celui de F. La première réaction serait de le considérer comme le plus complexe de tous, puisqu'il présente le plus de connexions. Mais est-ce bien fondé ? La propriété d'avoir tous les points connectés n'est-elle pas tout aussi simple que celle de n'en avoir aucun ? F pourrait bien appartenir au bas de l'échelle de la complexité, tout comme A.

Un tel raisonnement nous ramène à la suggestion qu'au moins une manière de définir la complexité d'un système revient à utiliser la longueur de sa description. La structure F serait ainsi réellement d'une simplicité analogue à celle de son complément A, puisque la phrase « tous les points connectés » est d'une longueur sensiblement égale à « aucun point connecté ». De plus, la complexité de E n'est guère différente de celle de son complément B : puisque ajouter le mot « complément » n'allonge pas de manière significative la description, ce qui vaut également pour D et C. De manière générale les structures complémentaires auront sensiblement la même complexité.

Les structures B et E sont à l'évidence plus complexes que A et F tout comme le sont C et D. La comparaison de B et E avec C et D est plus délicate. Il pourrait sembler, à utiliser le même critère simple de longueur de description, que C et D sont plus complexes, mais savoir s'ils le sont réellement dépend dans une certaine mesure du vocabulaire disponible pour la description.

Avant d'aller plus loin dans cette idée que la complexité est en relation avec la longueur d'une description, il est intéressant de remarquer que les mêmes diagrammes que nous verrons s'appliquer aux structures de communication entre personnes peuvent également s'appliquer à une autre situation, très importante aujourd'hui pour la science, la technologie ou le monde des affaires. De nos jours les informaticiens font de rapides progrès dans la construction et l'utilisation d'ordinateurs « à traitement parallèle », beaucoup plus efficaces pour résoudre certains types de problèmes que les ordinateurs classiques. Au lieu d'un unique ordinateur géant qui travaille sans relâche sur un problème jusqu'à ce qu'il l'ait achevé, le traitement parallèle emploie une batterie de nombreuses unités de calcul plus petites, fonctionnant toutes simultanément, où certaines configurations de liens de communication relient des couples donnés d'unités. Ici encore, la question peut se poser : que signifie pour une structure de relais de communication d'être plus complexe qu'une autre ? En fait, c'est un physicien travaillant à la conception d'un ordinateur parallèle qui, me posant cette même question, renouvela mon intérêt pour le problème de la définition de la complexité.

Nous avons précédemment envisagé la possibilité de compter le nombre d'espèces, d'interactions, etc., afin de définir les communautés écologiques simples et complexes. Si toutes les sortes d'arbres apparaissant dans une communauté, par exemple, étaient recensées, la longueur de cette partie de la description serait en gros proportionnelle au nombre d'espèces d'arbres. C'était donc bien dans ce cas aussi sa longueur de la description qui était utilisée comme mesure.

La dépendance du contexte

Si l'on définit la complexité en termes de longueur de description, ce n'est pas alors une propriété intrinsèque de la chose décrite. La longueur d'une description peut à l'évidence dépendre de qui (ou de *ce* qui) fait la description. (Cela me rappelle *The Glass in the Field*, l'histoire dans laquelle James Thurber met en scène un chardonneret faisant aux autres oiseaux le récit succinct de sa collision avec une vitre : « je volais au-dessus d'une prairie lorsque tout d'un coup l'air s'est cristallisé sur moi. ») Toute définition de la complexité est nécessairement dépendante du contexte, subjective même. Bien entendu, le niveau de détail auquel le système est décrit est déjà en quelque manière subjectif-lui aussi dépend de l'observateur ou du matériel d'observation. En réalité, donc, nous avons pour objet une ou plusieurs définitions de la complexité dépendant de la description d'un système par un autre système, vraisemblablement un système adaptatif complexe, lequel pourrait-être un observateur humain.

Pour affiner la notion de longueur de description, nous devons écarter la description de quelque chose en le désignant du doigt ; il est manifestement tout aussi facile de montrer du doigt un système complexe qu'un système simple. Par conséquent, la description qui intéresse est communicable à quelqu'un d'éloigné. Il est aisé également de donner des noms comme « Sam » ou « Judy » à quelque chose d'extrêmement compliqué, rendant par là même la description ridiculement courte. Le langage descriptif doit faire l'objet d'un accord préalable et ne pas inclure de termes spéciaux forgés à dessein.

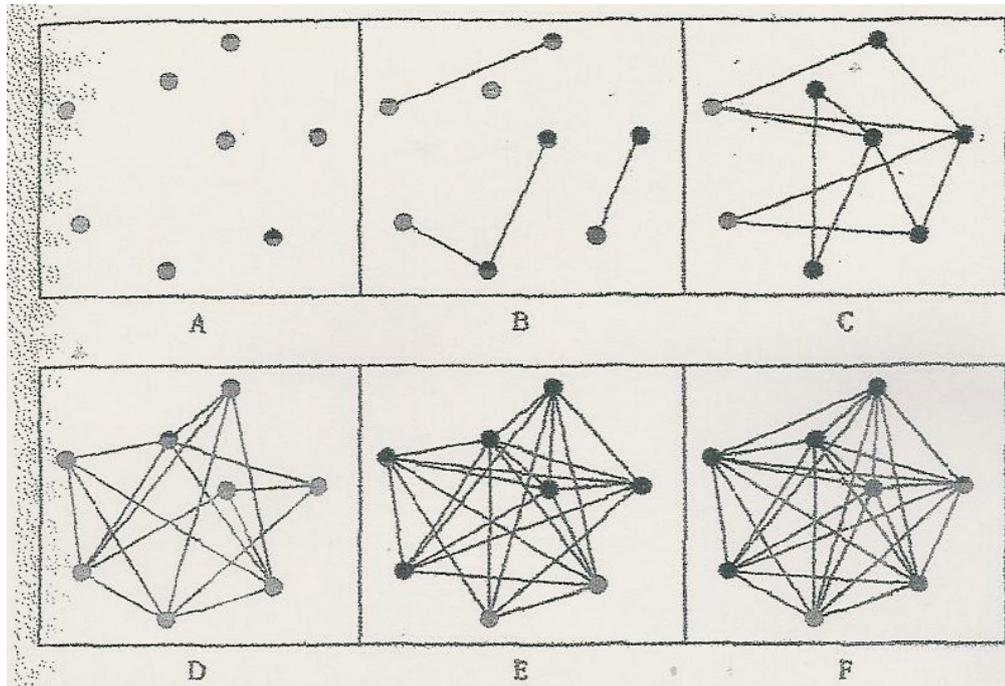


Figure 3- Quelques structures de connexions de huit points

Il reste bien sûr encore beaucoup d'arbitraire et de subjectivité, de genres divers. La longueur de la description variera en fonction langage utilisé, et également selon la connaissance et la compréhension du monde que partagent les correspondants. Si c'est un rhinocéros, par exemple, qu'il faut décrire, le message peut être raccourci à condition que les deux parties sachent déjà ce qu'est un mammifère. Si l'on doit décrire l'orbite d'un astéroïde, la connaissance préalable de la loi de la gravitation ainsi que celle de la deuxième loi du mouvement de Newton peut faire une grande différence que soient ou non connues des deux parties les orbites de Mars, de Jupiter et de la Terre, peut également influencer sur la longueur de la description.

Concision et complexité brute

Et si la description *est inutilement* longue du seul fait d'un gaspillage de mots? Je me rappelle l'histoire de l'institutrice qui avait donné à sa classe comme devoir à la maison une rédaction de 300 mots. Après avoir passé son samedi et son dimanche à jouer, des élèves avait réussi à griffonner le lundi matin la composition suivante : « Hier, il y a eu le feu dans la cuisine des voisins ; j'ai passé la tête par la fenêtre et hurlé : "Au feu ! Au feu ! Au feu !..." » L'enfant avait répété l'expression « au feu ! » jusqu'à ce le teste fasse 300 mots. Cependant, s'il n'y avait pas eu cette condition, il aurait pu écrire, à la place, « ... j'ai hurlé "Au feu !" 139 fois » et communiquer la même signification. Dans notre définition de la complexité, nous allons par conséquent nous intéresser à la longueur du plus court message décrivant un système.

Tous ces points peuvent être inclus dans ce que l'on pourrait appeler «complexité brute» ; la longueur du plus court message possible décrivant un système, à un niveau donné d'agrandissement, à quelqu'un d'éloigné, au moyen d'un langage, d'une connaissance et d'une compréhension que les deux parties partagent (et qu'elles savent partager) au préalable.

Il y a des manières familières de décrire un système qui ne sont en rien le plus court message possible. Si nous décrivons par exemple séparément les parties d'un système (les pièces d'une voiture ou les cellules du corps humain) et que nous disons également comment le tout est composé de parties, nous aurons ignoré de nombreuses occasions

de compresser le message comme d'utiliser les similitudes entre parties. Ainsi, la plupart des cellules d'un corps humain partagent les mêmes gènes et peuvent avoir bien d'autres traits en commun, tandis que les cellules d'un tissu donné peuvent présenter davantage de similitudes encore. C'est là quelque chose dont la plus courte description devrait tenir compte.

Le contenu d'information algorithmique

Certains spécialistes de la théorie de l'information utilisent une quantité qui ressemble beaucoup à la complexité brute, même si leur définition est plus technique et fait évidemment intervenir les ordinateurs. Ils envisagent une description à un niveau donné d'agrandissement, exprimée dans un langage donné, qu'ils encodent ensuite au moyen d'une procédure standard de codage en une chaîne de 1 et de 0. Tout choix d'un 1 ou d'un 0 s'appelle un « bit » (dont l'origine est la contraction de « *binary digit* », chiffre binaire ; binaire parce qu'il n'y a que deux choix possibles, alors qu'avec les chiffres ordinaires du système décimal il y en a dix : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9). C'est cette chaîne de bits ou chaîne-message qui les intéresse.

La quantité qu'ils définissent se nomme « complexité algorithmique », « contenu d'information algorithmique », ou « aléatoire algorithmique ». Ce mot d'« algorithme » désigne aujourd'hui une règle et par extension un programme, pour calculer quelque chose. Le contenu d'information algorithmique renvoie, comme nous allons le voir à la longueur d'un programme informatique.

A l'origine, algorithme avait un sens quelque peu différent. Le mot sonne comme s'il dérivait du grec, à l'instar d'« arithmétique » mais ce n'est en fait que le résultat d'un déguisement. Le « th » a été introduit par analogie avec celui d'« arithmétique », quoiqu'il n'ait en réalité rien à faire ici. Une orthographe reflétant mieux l'étymologie serait « algorisme ». Il a pour origine le nom de l'homme dont l'œuvre a introduit la notion de zéro dans la culture occidentale : le mathématicien arabe du IX^{ème} siècle Muhammad ibn Musa al-Kwarezmi, dont le surnom indique que sa famille venait de la province de Kwarezme, au sud de la mer d'Aral, maintenant partie de la nouvelle république Indépendante d'Ouzbékistan. Il est l'auteur d'un traité mathématique dont le titre contient l'expression arabe « *al jabr* », signifiant « la permutation » qui nous a donné le mot « algèbre ». À l'origine, le mot « algorisme » désignait le système décimal de notation, dont on pense qu'il a en grande partie passé de l'Inde en Europe par le biais de la traduction en latin de « l'algèbre » d'al-Kwarezmi.

Le contenu d'information algorithmique (CIA) a été introduit dans les années 1960 par trois auteurs travaillant indépendamment : le grand mathématicien russe Andrei N. Kolmogorov, un Américain, Gregory Chaitin, âgé de quinze ans seulement à l'époque, et un autre Américain, Ray Solomonoff. Tous trois présupposent un ordinateur universel idéal, considéré essentiellement comme ayant une capacité de stockage infinie (ou bien finie, mais susceptible d'acquérir autant de capacité supplémentaire que nécessaire). L'ordinateur est équipé d'un matériel et d'un logiciel précis. On considère ensuite une chaîne-message particulière, et l'on demande alors quels programmes auront pour effet que l'ordinateur imprime ce message pour cesser de calculer aussitôt après. La longueur du plus court de ces programmes est le CIA de la chaîne.

Nous avons vu que la subjectivité ou l'arbitraire sont inhérents à la définition de la complexité brute, ayant comme source l'agrandissement et le langage utilisés pour décrire le système. Dans le cas du CIA, de nouvelles sources d'arbitraire ont été introduites, à savoir la procédure particulière de codage qui transforme la description du système en une chaîne de bits, ainsi que le matériel et le logiciel associés de l'ordinateur.

Les spécialistes de la théorie de l'information ne se préoccupent guère de ces arbitraires, parce qu'ils s'intéressent d'ordinaire à des limites auxquelles l'arbitraire fini devient relativement insignifiant. Ils considèrent des suites de chaînes (de bits) semblables de longueur croissante, et étudient comment se comporte le CIA lorsque la longueur approche de l'infini. (Ce qui nous rappelle comment les informaticiens traitent la complexité calculatoire d'une suite de problèmes similaires lorsque la taille du problème approche de l'infini.)

Revenons à notre ordinateur idéal à traitement parallèle, composé d'unités représentées par des points connectés par des liens de communication symbolisés par des traits. Ici, Kolmogorov, Chaitin et Solomonoff ne prêteraient guère d'intérêt au

CIA des diverses structures de connexion possibles entre huit points seulement. Ils s'interrogeraient plutôt sur les connexions entre N points lorsque N tend vers l'infini. Sous ces conditions, certaines différences dans le comportement du CIA (entre *par* exemple la structure de connexion la plus simple et la plus complexe) éclipsaient toute différence résultant de l'emploi d'un ordinateur plutôt qu'un autre, d'une procédure de codage au lieu d'une autre, ou même d'un langage de préférence à un autre. Un théoricien de l'information ne se soucie que de savoir si un certain CIA croît de manière constante lorsque N approche de l'infini, et si c'est le cas, à quelle vitesse. Il n'a cure des différences relativement négligeables introduites entre un CIA et un autre par des arbitraires d'origine diverse liés au dispositif de description.

Nous pouvons tirer une leçon intéressante de l'exemple de ces théoriciens. Même si nous ne nous bornons pas à des systèmes devenant d'une grandeur infinie, il est important de comprendre *que les* discussions sur la complexité et la simplicité tendent à avoir d'autant plus de sens que les chaînes de bits deviennent de plus en plus longues. À l'autre extrême, pour une chaîne d'un seul bit, disons, faire la différence entre simplicité et complexité n'a manifestement aucun sens.

Définir l'information

Il est grand temps de tirer au clair ce qui distingue le contenu d'information algorithmique de l'information, telle que l'a étudiée par exemple Claude Shannon, le fondateur de la théorie moderne de l'information. Fondamentalement, l'information a pour objet une sélection de possibilités, et trouve son expression la plus simple lorsque ces possibilités peuvent se réduire à une suite de choix binaires, chacun entre deux éventualités d'égale probabilité. Si vous apprenez par exemple, qu'un lancer de pièce a donné pile au lieu de face, vous aurez appris un bit d'information. Si vous apprenez que trois lancers successifs ont donné pile, face et pile de nouveau, vous aurez acquis trois bits d'information.

Le jeu des vingt questions fournit une belle occasion d'exprimer les genres les plus divers d'information sous la forme d'une succession de choix binaires entre deux éventualités également probables, ou aussi près que puisse approcher de l'équiprobabilité le joueur qui pose les questions. Le jeu se joue à deux joueurs, dont le premier pense à quelque chose que le second doit deviner en vingt questions au plus, après qu'on lui aura dit si la chose est animale, ou minérale. A toute question, il doit être répondu par oui non ; chacune est un choix binaire. Le second joueur aura intérêt à faire en sorte que ses questions s'approchent autant que possible d'un choix entre deux éventualités également probables. Sachant que la chose est minérale, par exemple, le joueur serait mal avisé de demander de but en blanc s'il s'agit du diamant Hope. Mieux vaudrait demander : « Est-ce naturel [opposé à manufacturé ou modifié par les humains] ? » Ici, les probabilités de réponses affirmative et négative sont à peu près égales. Si la réponse est « Non », la question suivante pourrait être ; « Est-ce un objet spécifique plutôt qu'une classe d'objets ? » Lorsque les probabilités d'une réponse par oui ou par non sont égales, chaque question retirera un bit d'information (le plus qu'on puisse obtenir au moyen d'une question de ce genre). Vingt bits d'information correspondent à un choix entre quelque chose comme 1 048 576 éventualités également probables, le produit de la multiplication de 20 facteurs de 2. (Ce produit le nombre de chaînes de bits différentes de longueur 20.)

Remarquez l'emploi différent des chaînes de bits selon que l'on étudie le CIA ou l'information. Dans le cas du contenu d'information algorithmique, on considère une seule chaîne de bits (une longue de préférence) et l'on mesure ses régularités internes par la longueur (en bits) du plus court programme ayant comme effet qu'un ordinateur standard imprime la chaîne pour s'arrêter aussitôt le cas de l'information en revanche, on doit considérer un choix entre toutes les différentes chaînes d'une longueur donnée . Si toutes sont également probables, leur longueur est le nombre de bits d'information.

On peut aussi avoir affaire à un ensemble de chaînes de bits, également probables par exemple, chacune avec une valeur de CIA particulière . Dans ce cas, il est souvent utile de définir une quantité d'information, déterminée par le nombre de chaînes, ainsi qu'une valeur moyenne de CIA calculée sur l'ensemble d'information, déterminée par le nombre de chaînes, ainsi qu'une valeur moyenne de CIA calculée sur l'ensemble.

Extraits de « LA COMPLEXITE ET SON IDEOLOGIE »

Par Jean ZIN

<http://perso.wanadoo.fr/marxiens/sciences/complexi.htm>

A. Le savoir de notre ignorance

1. Rupture avec le réductionnisme mécaniste (histoire des sciences)

La notion de complexité remplit une fonction stratégique dans la science contemporaine. On peut considérer comme Michel Serres que c'est un concept flou et mal défini mais sa signification est d'instituer une rupture avec le **réductionnisme mécaniste** sans faire appel à des hypothèses "holistes" considérées comme problématiques car pouvant ouvrir la porte à toutes sortes d'obscurantismes antiscientifiques. **C'est la tentative de dépassement du scientisme par la Science elle-même**, la reconnaissance qu'il y a du flou dans la nature, et des phénomènes globaux. Son importance est donc cruciale dans son opposition aux simplismes des sciences humaines ou biologiques, aussi bien que dans la critique du dirigisme ou du volontarisme politique. C'est pourtant une façon d'évacuer la notion de totalité en la réduisant à la somme de ses effets et qui peut justifier ainsi la dangereuse idéologie néolibérale de la complexité, telle que formulée principalement par Hayek mais que le mythe de "*la main invisible du marché*" anticipait déjà.

Il est crucial de bien comprendre la portée à la fois théorique et pratique de la complexité qui ne se situe pas hors de la science, ni dans un scepticisme satisfait ou dans un retour à quelque mysticisme qui nous renverrait aux époques sombres d'avant les Lumières. Le danger existe, c'est indéniable, et pour pouvoir prétendre à quelque valeur, il faut que la complexité scientifique se détache de l'idéologie de la complexité avec ses connotations **religieuses** (la "main invisible" renvoyant à la providence divine et une sorte de "Mana", d'âme du marché, dieu caché, mystère d'Amon qui certes ne date pas d'hier). Il ne faut pas négliger non plus le contexte où le concept de complexité s'est construit contre l'idéologie du "matérialisme dialectique" alors dominant.

Comme le souligne le titre donné par Edgar Morin à son exploration de la complexité, il s'agit d'abord d'une question de **méthode**. Il n'est pas question de réduire à néant tout le savoir scientifique accumulé et la puissance technique démesurée qu'il nous a donné, mais bien plutôt de compléter l'approche réductionniste, analytique et quantitative, par une indispensable compréhension globale, **synthétique** et qualitative, dynamique, évolutive et tenant compte de la place de l'observateur dans l'observation. C'est d'ailleurs dans la Physique elle-même que se sont imposées les limites du réductionnisme, que ce soit avec le principe quantique de complémentarité ou les structures dissipatives en thermodynamique, si ce n'est avec l'utilisation de l'arme atomique, la dissémination des OGM ou l'étude du climat qui ont manifesté le caractère éminemment politique de la science.

En effet, la complexité, c'est aussi la fin d'une science sans **conscience** et sans sujet, alors même que la science avait conquis son autonomie contre les religions et les jugements de valeur. Désormais on ne peut plus ignorer que tout savoir est celui d'un sujet, situé historiquement et dans une société qui en donne les moyens mais demande aussi de plus en plus des comptes aux scientifiques, de comités d'éthique en conférences de citoyens. La complexité devrait ainsi permettre de sortir de l'alternative entre dogmatisme et irresponsabilité.

2. L'incalculable (épistémologie)

Le sens de la complexité est celui d'un **trou dans le savoir**, l'affirmation qu'il y a de l'inconnu et de l'incalculable. Le réductionnisme mécaniste pouvait prétendre à un monde entièrement déterminé et

calculable, sur le modèle des horloges, monde livré à notre maîtrise technique et complètement programmable (car programmé par un créateur, "la pensée de Dieu" comme dit Hawking). Le monde de la complexité est la réfutation de ce fantasme de toute-puissance, **monde traversé d'événements improbables, de bifurcations soudaines, de singularités et de catastrophes**. C'est une rupture fondamentale qui reconnaît le caractère exceptionnel et problématique de l'existence ([l'improbable miracle d'exister](#)), **la part d'indétermination des limites, le caractère chaotique des transitions de phase ou des changements de régime, la pluralité des équilibres ou des niveaux de réalité, l'hétérogénéité des éléments, leurs interdépendances et leurs interactions, les effets indirects ou à retardement, les effets de masse ou les phénomènes d'émergence de propriétés collectives**.

Le caractère obscur des mécanismes en jeu, inaccessibles au calcul, oblige à en faire abstraction (ce qu'on appelle la "**boîte noire**") pour ne s'intéresser qu'aux entrées et sorties, aux comportements constatés, aux interactions avec l'environnement plutôt qu'à l'enchaînement exact des causes. D'une certaine façon il s'agit de remplacer la recherche d'exactitude d'une ontologie matérialiste par une **phénoménologie** plus incertaine construisant des modèles approximatifs mais qui correspondent bien à des phénomènes tout à fait réels et dont le réductionnisme ne peut rendre compte.

Ce serait une grave erreur de croire que l'**indéterminisme** devrait dès lors remplacer le déterminisme et, sous prétexte qu'il y a une limite aux prévisions météorologiques, par exemple, renoncer à prévoir le temps qu'il fera demain. L'indéterminisme est seulement d'ordre **pratique et cognitif**. Pourtant ce serait une autre erreur de croire que cet indéterminisme est purement subjectif et pourrait être dépassé par une plus grande précision des mesures. L'amplification de l'incertitude par rapport aux conditions initiales est une caractéristique objective des systèmes chaotiques et ne tient pas à la précision avec laquelle on mesure ces conditions initiales car cette précision ne peut être absolue. Il y aura toujours une marge d'erreur et donc un horizon plus ou moins limité des prévisions qui peuvent s'en déduire. On peut raisonnablement maintenir un déterminisme théorique ou métaphysique (tout a une cause) mais qui nous reste en partie inaccessible et la physique n'est pas une spéculation, c'est une pratique liée à l'expérience avec ses limites. Dès lors il faut tenir compte de cette impossibilité pratique d'un déterminisme absolu ainsi que d'une marge d'erreur plus ou moins grande, sans tomber pour autant dans l'illusion d'un monde sans lois.

3. La cause finale et globale des systèmes complexes (phénoménologie)

L'abord phénoménologique de la complexité est aussi une **inversion** de la causalité qui n'essaie plus de déduire un comportement global à partir de ses éléments, et de réactions locales, mais au contraire **d'expliquer l'intérieur par l'extérieur, l'organisation interne par les interactions externes, la prééminence du tout sur ses parties interdépendantes**, ce qui débouche sur la systémique.

Reconnaître l'illusion d'une toute-puissance technique ou de l'exactitude de l'information ne doit pas nous amener à suivre l'idéologie de la complexité dans ses conclusions hâtives, comme si cela nous condamnait à la fatalité de l'impuissance ou l'impossibilité de toute prévision. La complexité ne nous réduit pas à la passivité comme veut nous en persuader le libéralisme mais à un autre mode d'**action par régulation (et gouvernance) qui tient compte de notre faillibilité, du savoir de notre ignorance**. La part d'imprévisible de tout système complexe nous oblige à passer d'une logique de programmation dirigiste à une logique de **rétroaction, une causalité qui se règle sur les effets, où les effets deviennent cause**, action selon les conséquences plutôt que selon les principes ou les moyens, sélection après-coup à partir des résultats. C'est donc bien l'**intervention de la finalité dans la chaîne des causes**, ce qui n'est pas si mystérieux puisqu'on peut le matérialiser avec un simple thermostat indiquant la température désirée, sans avoir à programmer, ni connaître d'avance, la dépense d'énergie utilisée. On peut dire qu'il s'agit de **substituer une obligation de résultats à l'obligation de moyens**. La contrepartie c'est un certain tâtonnement, une action par essais multiples et corrections dynamiques. Paradoxalement, l'imprévisibilité nous condamne à une constante anticipation. C'est par son impossibilité que la prévision tient du réel et nous occupe sans cesse. Pour un système complexe, la plupart du temps, il n'y a pas une solution unique (*one best way*) mais presque toujours

plusieurs stratégies, passant par différents canaux, plusieurs chemins qui peuvent mener au résultat voulu (**équifinalité**). C'est le contraire de la pensée unique (*There Is No Alternative!*).

Ce à quoi la complexité nous oblige ce n'est donc absolument pas à laisser-faire quoiqu'il arrive mais c'est, tout au contraire, la nécessité d'une réaction après-coup qui tienne compte des "effets pervers". **La projection dans l'avenir où le passé ne détermine plus aveuglément un présent qui est désormais orienté en grande partie vers le futur, tendu vers un objectif (ou une proie), habité par le manque, le désir, l'intentionnalité, l'inquiétude de l'existence.** Les entreprises qui doivent faire face à des systèmes complexes sont bien obligées de reconnaître qu'un système se construit sur ses finalités et qu'il leur faut adopter une **direction par objectifs**. Dès lors, la systémique introduit la temporalité dans une science qui s'humanise en intégrant le producteur dans son produit, sa position historique et sociale dans l'espace-temps; ses représentations et ses finalités. Ce retour du finalisme peut sembler étonnant mais il n'a rien à voir avec les anciennes visions théologiques puisqu'il s'agit ici d'un principe organisateur actif très concret, lié à un centre de décision.

Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but.

J. de Rosnay, *Le Macroscopie*

Un système est quelque chose -n'importe quoi- qui a des activités, échange de l'information avec son environnement et est capable de garder son identité au service d'une finalité. Un système est un homéostat, soit quelque chose qui tend à se reproduire à l'identique. S'il n'a pas de finalité, il se dégrade sous l'effet de l'entropie.

<http://perso.wanadoo.fr/claude.rochet/systemique.html>

Si la finalité est essentielle à la perpétuation de tous les organismes, il ne faut pourtant pas tomber dans l'excès d'en faire une caractéristique de tous les systèmes comme les citations ci-dessus. Il y a aussi des systèmes sans finalité ni autorégulation, sur le modèle des marchés internationaux qui échappent à toute autorité centrale, toute responsabilité politique. L'ouverture au marché a le sens de l'ouverture à un flux égalisant les prix (ne réduisant pas les inégalités de richesse mais les augmentant au contraire, comme toute structure dissipative), la détermination de la production par la circulation a le sens de l'intégration dans un système, elle a d'emblée un caractère "totalitaire", sans autre finalité que la circulation elle-même, son irrigation. Ce qui caractérise ces systèmes ouverts dépourvus de finalité, c'est de n'être pas durables, d'être soumis à des emballements et de tendre à des états plus stables qui peuvent être catastrophiques. On ne peut négliger ces **systèmes thermodynamiques** instables, loin de l'équilibre, qui se produisent partout du marché au climat, on ne peut dénier leur caractère de système mais il ne faut absolument pas les confondre avec des organismes finalisés. On tente d'y introduire régulation et stabilisation par une gouvernance réactive mais c'est bien qu'ils n'ont pas leurs propres régulations, pas de finalité interne (voir [Canguilhem](#)). Pour pouvoir réguler, il faut introduire une finalité, un résultat qu'on veut atteindre et qui oriente notre action. La finalité est indispensable à une complexification d'un niveau supérieur au niveau purement physique. Notons que les réseaux se distinguent des systèmes par l'absence de finalité explicite, mais on peut définir les réseaux comme des systèmes inconsistants sans processus et donc réduits à leur structure.

4. Complexité et scepticisme (idéologie, entre incertitude et irresponsabilité)

La place que toute complexité ménage à notre ignorance semble bien répéter dans la science le moment philosophique de la Grèce antique qui a permis justement la fondation de la science sur l'anti-dogmatisme, la critique théorique et la vérification pratique. On voit bien que **cet anti-dogmatisme tombe toujours aussi facilement dans le scepticisme, le relativisme ou la rhétorique des sophistes et de la communication mercantile**. Le libéralisme est un scepticisme. Le Baron Hayek, référence du néolibéralisme (de Thatcher à Reagan) utilisait explicitement les notions de complexité et d'information pour nous persuader de notre impuissance et de l'impossibilité de comprendre un monde trop compliqué pour nous, justifiant le laisser-faire et l'irresponsabilité au nom de lois de la nature purement mécaniques, comme si paradoxalement toute information était inutilisable. C'est la contradiction de cette idéologie de la complexité intenable pratiquement. **Le scepticisme est toujours contradictoire**, cachant mal des intérêts bien réels.

Les entreprises qui doivent relever le défi de la complexité ne s'y trompent pas, en prenant le contre-pied de cette idéologie dans leurs **régulations** internes. D'ailleurs les entreprises ne sont pas des marchés mais des

systèmes hiérarchisés. L'utilisation de la complexité dans les sciences n'a absolument rien à voir avec l'idéologie de la complexité, avec ses tentations sceptiques ou irrationalistes, et se rapproche beaucoup plus d'une dialectique matérialiste constructiviste.

5. La philosophie de la prudence (éthique)

Plutôt que de tomber dans ces sophismes, on devrait identifier la complexité au **manque d'information**, à la "docte ignorance" et l'étonnement philosophique qui s'incarnent désormais plus concrètement dans le **principe de précaution** nous enjoignant à l'action, et non comme on le croit trop souvent, là encore, à ne rien faire! L'incertitude de la raison pratique n'est pas nouvelle, ni l'indispensable prudence ; Aristote y insistait déjà. Toute pratique relève d'un art, pas seulement de la science. Les ingénieurs savent depuis toujours qu'un moteur théorique ne marche pas sans une longue mise au point, mais **ne pas tout savoir ne signifie pas ne rien savoir du tout, ni ne rien pouvoir faire !** Il y a bien une opposition totale entre la reconnaissance de la complexité et son idéologie.

Reste que nous devons reconnaître notre part d'ignorance, la limitation de notre savoir, même les plus savants. Impossible de tout lire, tout connaître. En dehors de notre **spécialité**, nous sommes tous à peu près au même point, ne faisant le plus souvent que répéter le discours de l'opinion. La transdisciplinarité est à la fois de plus en plus nécessaire et de plus en plus impossible, question politique posée à une démocratie qui doit s'y affronter dans la construction d'une indispensable mais difficile démocratie cognitive.

B. Les différentes complexités

1. La complexité de la complexité

Dès qu'on dépasse le scepticisme, le concept de complexité se révèle lui-même complexe, s'appliquant à différents degrés de complexité. Appliqué aux phénomènes biologiques ou informationnels, il se trouve **inséparable d'autres concepts aussi fondamentaux et complexes eux-mêmes, ceux de système ouvert, de finalité, de rétroaction, d'information et d'évolution ou d'organisation apprenante** pour reprendre les principaux. L'ensemble de ces concepts sont complexes et font système. C'est le monde multidimensionnel de l'information et de la vie.

Le concept de complexité est appliqué aussi bien dans les mathématiques, la thermodynamique, la biologie, l'écologie, la sociologie, l'économie, le management, l'informatique, etc. Qui trop embrasse mal étreint. Un concept trop général n'a plus de sens ni d'utilité (nuit où toutes les vaches sont noires). Ainsi la portée épistémologique considérable de la complexité ne doit pas empêcher de reconnaître qu'il y a différentes sortes de complexité, obligeant à **spécifier** de quoi on parle, faute de quoi on tombe dans l'obscurantisme (un mystère expliqué par un autre mystère) ou bien dans la pure idéologie. L'avantage du paradigme de la complexité est de réfuter le dogmatisme scientiste et l'illusion mécaniste d'un monde entièrement déterminé et calculable où la liberté n'a plus de place. Son désavantage est de recouvrir des réalités sans commune mesure avec lesquelles l'idéologie de la complexité va entretenir les plus grandes confusions.

2. Les quatre complexités (mathématique, physique, biologique, humaine)

Après s'être posé en s'opposant à ce qui le précède, le concept de complexité doit se différencier en domaines distincts. Il y a plusieurs types de limites au raisonnement analytique. **Il faut bien distinguer ce qui relève des mathématiques (incomplétude, suites aléatoires), ce qui relève de la physique (sensibilité aux conditions initiales, bruit, systèmes loin de l'équilibre, structures dissipatives, fractales, probabilités, lois des grands nombre, seuils qualitatifs, sauts quantiques, transitions de phase),** phénomènes qui mettent en échec la prévisibilité des expériences mais qui sont d'un tout autre ordre que **ce qui relève de la biologie (boucles de régulation, réactions conditionnelles, échanges d'information)** témoignant alors d'une

dynamique indécise, vivante et multiple, pas seulement une combinatoire, ni simplement d'un ensemble de causalités "tissés ensemble". On verra aussi que la complexité humaine est encore bien supérieure et ne doit pas être ramenée au biologisme, n'appartenant plus aux sciences mais au débat politique.

La complexité **mathématique** qui prétend mesurer la complexité par la quantité d'information nécessaire à la description d'un système ne prend en compte qu'un aspect marginal de cette complexité, ignorant le type d'interactions entre ses éléments. Il ne suffit pas d'arriver à en **compresser les données**, ce qui est l'ambition de toutes les théories scientifiques, pour en réduire la complexité effective puisqu'on sait qu'on peut produire du hasard avec des systèmes déterministes simples. Par exemple, un automate cellulaire, dont la programmation tient en quelques lignes, peut générer des figures imprédictibles au bout d'un certain temps. Il serait paradoxal face à des organismes vivants de prétendre que la complexité pourrait se résumer à un **manque de structure** ou de redondance, au pur hasard incompressible (ce qu'on appelle les problèmes non-P).

La complexité impose au savoir un **horizon temporel** plus ou moins éloigné, temps (de Lyapounov) au-delà duquel l'évolution devient imprévisible et peut diverger de façon exponentielle. Cela n'empêche pas qu'il y a plusieurs sources d'incalculabilité : l'incomplétude ou cercle vicieux *auto-référentiel* (Gödel), le hasard lui-même, dans son caractère "stochastique", incompressible, *non linéaire* (Chaitin), le caractère probabiliste du comportement d'un trop grand nombre de composants (gaz ou foule), les phénomènes *chaotiques* instables (Turing, Prigogine), les bifurcations, *catastrophes*, effets de seuil imprévisibles (Thom), l'influence d'un environnement extérieur dont tous les paramètres ne sont pas connus, enfin l'impossibilité de prévoir les *réactions* d'un organisme vivant, ses interactions avec les autres comme l'issue d'une lutte, problème qui relève plutôt de la *Théorie des jeux* (Neumann).

Il y a sans doute une **zone floue** entre les processus physiques et vitaux, puisqu'il y a bien eu passage de l'un à l'autre, ce n'est pas une raison pour négliger l'effet de seuil considérable introduit par la complexité biologique. Il est probable que le processus récursif des [cycles autocatalytiques de l'ARN](#) se trouve à l'origine de l'ADN, de la vie et de son évolution, mais cette réaction chimique n'a rien à voir avec la vie encore. Il ne suffit pas d'un *feed-back* positif multiplicateur, phénomène d'emballlement qui renforce les divergences, il faut encore un *feed-back* négatif renforçant la stabilité qui l'équilibre. L'homéostasie est indispensable à la vie qui commence seulement lorsque le cycle se stabilise en interaction avec son environnement, c'est-à-dire lorsque se met en place une régulation entre tendances antagonistes. Il y a plusieurs autres paliers à franchir pour aboutir à la diversité d'éléments indispensable à la complexité des cycles biologiques, au-delà même de ce que von Neumann appelait une "barrière de complexité" séparant les systèmes physiques d'auto-reproduction "triviale" (cristallisation) de la reproduction du vivant (non-triviale) où la reproduction du programme est distinct de son exécution. Il faut aussi la constitution d'une membrane et le bouclage de circuits, mêlant indissociablement matière, énergie et information, qui renforcent leur organisation, leur coordination et leur propagation (homéostasie).

Il n'est pas question de dénier l'importance de la complexité dans les phénomènes physiques mais il faut éviter les amalgames en marquant toute la distance qui sépare la complexité des organisations vivantes (complexité organisée) par rapport aux phénomènes chaotiques (complexité aléatoire). L'infinie complexité du corps, si marquée dans les mécanismes nutritifs ou le système immunitaire, et si mal prise en compte par la médecine actuelle, n'a rien à voir les "ordres spontanés" et les incertitudes ou bifurcations des phénomènes physiques qui restent relativement simples, au point de pouvoir être modélisés par ce qu'on appelle des automates cellulaires ([Neumann](#), [Wolfram](#)). Ces processus constituent bien sûr les bases matérielles des processus biologiques mais ceux-ci sont beaucoup plus complexes et différenciés. **Identifier systèmes physiques et biologiques c'est revenir à la génération spontanée sous le nom d'auto-organisation alors que la base de la biologie c'est que la vie vient toujours de la vie, pas d'un tourbillon, et que tous les organismes vivants partagent les mêmes bases d'un ADN primitif, irruption véritable de l'information dans le monde matériel et de sa dialectique évolutive.** On ne peut comparer l'évolution des processus physiques avec l'évolution des espèces sans de grandes confusions.

Non seulement les processus physiques n'ont pas de mémoire, contrairement aux processus biologiques, mais les complexités physique (chaos) et biologique (organisme) s'opposent complètement puisque **le chaos produit des phénomènes complexes à partir d'éléments simples alors qu'un organisme produit des comportements simples à partir d'éléments complexes.** De même, s'il y a bien des similitudes entre organismes et organisations, on ne peut identifier les sociétés humaines avec un corps. Non seulement le biologisme est une grave erreur en sociologie mais c'est une faute politique dont les conséquences peuvent être terribles, cruelles, inhumaines. **La complexité humaine est multidimensionnelle**, caractérisée par le langage et des finalités contradictoires, prise dans de multiples réseaux et temporalités, une histoire qui prend le relais de l'évolution mais n'est pas du tout du même ordre.

3. L'imbrication des complexités

Ce n'est pas dire malgré tout qu'il n'y aurait aucun **rapport** entre les différentes complexités car, outre le fait qu'on rencontre bien à chaque fois une limite au savoir, il semble bien que les "systèmes complexes organisés" émergent au "**bord du Chaos**", la complexité biologique étant construite sur la complexité physique. Il est évident qu'il n'y a pas de vie sans matière ni énergie. Il y a imbrication indissoluble des complexités biologique, environnementale, sociale et cognitive, mais on change de niveau et de lois en passant de la physique à la chimie comme de la chimie à la biologie, de même de la biologie à la sociologie, etc.

Les rapports entre ces différents niveaux de complexité sont eux-mêmes complexes. Il ne suffit pas de les distinguer. D'autant plus que, "*les systèmes complexes présentent des comportements généraux en grande partie indépendants des propriétés des constituants individuels, que ceux-ci soient des molécules, des gouttelettes d'eau, des fourmis dans une colonie ou des étoiles dans une galaxie*". (La Recherche, Ordre et désordre, Hors-série novembre-décembre 2002, p48). Que ce soit pour les phénomènes biologiques ou pour le langage, on peut dire que l'apparition de phénomènes majeurs n'est pas due aux propriétés individuelles de chacun de ses composants (phonème ou lettre par exemple), mais naît de la dynamique de leurs interactions, de la façon dont ils communiquent entre eux, de leur configuration. Dès lors des organismes biologiques complexes peuvent être pris eux-mêmes dans des phénomènes chaotiques d'un ordre inférieur de complexité. L'utilisation de l'analogie entre différents systèmes, qui est le principe même de la théorie des systèmes, est ainsi largement justifié mais cela ne dispense pas de la plus grande prudence, d'un esprit critique évitant des conclusions trop rapides et des confusions précipitées.

4. La confusion des genres

L'idéologie se nourrit toujours de confusions, d'analogies, de préjugés, d'habitudes de pensées. Toutes les conditions sont donc réunies pour nourrir une idéologie recouvrant les véritables avancées du concept de complexité. D'autant que le terme n'est pas si nouveau bien qu'il fasse référence désormais à de beaucoup plus récentes découvertes. L'idéologie de la complexité reste le plus souvent contaminée par la conception purement mécanique qu'en avait le XIX^e siècle, en particulier celle d'Herbert **Spencer**, bien que son oeuvre soit refoulée dans un oubli profond semble-t-il, à cause de son racisme biologisant qui a fait tant de ravages, mais qui survit très bien sous la forme de la prétendue "lutte pour la survie". On voudrait appliquer cette conception dépassée d'un mécanisme aveugle à des systèmes biologiques qui relèvent pourtant d'une toute autre logique, bien plus "complexe", celle de l'information qui ne se réduit pas aux rapports de force ni à une causalité qui viendrait entièrement du passé alors qu'elle s'oriente plutôt vers l'avenir (intentionnalité). C'est en plusieurs sens qu'on peut dire avec Christopher Langton que "*le passé appartient à la physique mais le futur appartient à la biologie*".

Confondre la rigueur des lois physiques qui nous condamnent à une entropie destructrice avec l'organisation vitale qui résiste à sa dispersion peut avoir des conséquences dramatiques, tout comme l'identification de la société à un corps ou une foi trop naïve dans l'auto-organisation. Le **biologisme** renie ici la véritable biologie comme le scientisme renie la véritable science. Le rôle de l'information et de l'apprentissage dans l'autonomie des individus sont absolument déterminants pour sortir du libéralisme irresponsable comme de l'autoritarisme sécuritaire et d'une gestion technique des populations (biopolitique).

En 2050 notre esprit sera-t-il immortel grâce aux machines ?

Par René Trégouët

Sénateur honoraire

Fondateur du Groupe de Prospective du Sénat

Si l'on excepte les grands auteurs de science-fiction, et les grands écrivains visionnaires, comme Jules Verne dont nous célébrons cette année le 100e anniversaire de sa disparition, ou Orwell, il est frappant de constater que peu de futurologues, scientifiques, ou décideurs économiques osent se risquer à faire oeuvre de prospective à long terme, en essayant d'imaginer notre monde dans 50 ou 100 ans.

Il est vrai que la fulgurante progression de la technologie en ce début de XXIème siècle rend un tel exercice particulièrement périlleux. Mais cela n'a pas découragé Ian Pearson, responsable du service de futurologie chez British Telecom, l'opérateur téléphonique bien connu Outre-Manche. Le moins qu'on puisse dire est que les prévisions de Pearson, diplômé de mathématiques appliquées et de physique théorique, ont suscité de nombreuses réactions et n'ont laissé personne indifférent. S'appuyant sur les tendances technologiques actuelles, mais aussi sur une imagination et un "feeling" que n'auraient sans doute pas reniés Jules Verne, Wells ou Orwell, Pearson affirme qu'en 2050 l'informatique sera devenue, grâce aux nanotechnologies, si puissante et si miniaturisée qu'elle nous donnera accès à une forme d'immortalité en permettant le stockage de nos souvenirs et de notre mémoire dans des puces d'une puissance inimaginable et en outre dotée d'une certaine forme de conscience d'elles-mêmes ! (Voir [article](#) p.23 extrait du journal britannique « Observer »)

Dans cette vision extraordinaire de notre monde d'ici 50 ans, Pearson se dit convaincu que la matière qui fait notre environnement et notre quotidien deviendra intelligente et sensible et que cela modifiera de manière radicale notre rapport à la nature. Pearson admet que ses prophéties peuvent présenter un caractère effrayant mais il les étaye par son observation avisée de l'évolution technologique. Il souligne par exemple que la dernière PlayStation 3 de Sony est 35 fois plus puissante que les consoles de jeux de la génération précédente et possède environ 1 % de la puissance de calcul d'un cerveau humain. "Cette PlayStation fait figure de superordinateur par rapport aux machines d'il y a seulement 10 ans", souligne Pearson qui ajoute "La PlayStation 5 sera probablement aussi puissante que le cerveau humain."

Mais Pearson sait bien que les capacités futures de nos machines ne dépendent pas seulement, et peut-être pas essentiellement, de leur puissance de calcul mais aussi de leurs aptitudes à développer une certaine émotivité et à acquérir une certaine forme de conscience d'elles-mêmes. A cet égard, il se dit persuadé qu'à partir de 2020, nos machines vont commencer à présenter de telles qualités. "Nos avions et nos voitures et toutes les machines qui nous entourent deviendront extrêmement sûres, fiables et efficaces parce qu'elles développeront un véritable instinct de conservation et une vraie sensibilité qui leur permettront un attachement affectif aux humains qui les utiliseront. "Si je suis dans un avion qui a peur, comme ses passagers, à l'idée d'avoir un accident, il fera tout, quelles que soient les circonstances, pour amener ses passagers à bon port" souligne Pearson.

Pearson pense que cette matière intelligente et "informée" sera notamment rendue possible par le recours aux puces bioélectroniques utilisant l'ADN. "Par exemple, si vous avez une puce détectrice de pollen dans votre voiture, celle-ci pourra automatiquement vous administrer au bon moment la dose d'antihistaminique dont vous avez besoin avant de sortir de votre véhicule." En fait, Pearson est persuadé qu'à partir de 2020, ces machines sensibles et "affectives" pourront satisfaire la plupart de nos besoins et de nos désirs sans même que nous le leur demandions et parfois avant même que nous en ayons nous-mêmes conscience !

En matière de télécommunications, Pearson prévoit l'utilisation banalisée d'écrans ultrafins et souples en polymère que l'on pourra se coller directement sur la peau, comme des tatouages, et qui pourront être utilisés comme visiohone ou pour lire ses mails. Philips, le géant de l'électronique, travaille sur ce type d'écrans et devrait d'ici 2 ans commercialiser un mini-écran souple de 12 cm et seulement un millimètre d'épaisseur.

Enfin, Pearson conclut ses prévisions en affirmant que la prochaine étape dans l'évolution technologique sera les mondes virtuels, qui se concrétiseront vers 2020. « Nous passerons beaucoup de temps dans les univers virtuels en utilisant des environnements 3D de très grande qualité, que ce soit pour notre travail ou pour nos loisirs, dit le chercheur. Lorsque la technologie vous permettra à la fois d'évoluer dans un environnement en 3D plus vrai que nature et de ressentir cet environnement virtuel par connexion sensorielle directe à votre système nerveux, l'immersion virtuelle deviendra la façon normale de communiquer » dit Pearson.

Comme toutes prévisions, celles de Pearson sont controversées mais elles constituent néanmoins une passionnante source de réflexion et d'inspiration pour tous ceux qui souhaitent défricher les chemins incertains de l'avenir. Mais, comme le montre l'histoire des sciences, notre futur sera probablement encore plus étonnant et fantastique que celui imaginé par Pearson.

2050 - and immortality is within our grasp

Britain's leading thinker on the future offers an extraordinary vision of life in the next 45 years

David Smith, technology correspondent

Sunday May 22, 2005

[The Observer](#)

Aeroplanes will be too afraid to crash, yoghurts will wish you good morning before being eaten and human consciousness will be stored on supercomputers, promising immortality for all - though it will help to be rich.

These fantastic claims are not made by a science fiction writer or a crystal ball-gazing lunatic. They are the deadly earnest predictions of Ian Pearson, head of the futurology unit at BT.

'If you draw the timelines, realistically by 2050 we would expect to be able to download your mind into a machine, so when you die it's not a major career problem,' Pearson told The Observer. 'If you're rich enough then by 2050 it's feasible. If you're poor you'll probably have to wait until 2075 or 2080 when it's routine. We are very serious about it. That's how fast this technology is moving: 45 years is a hell of a long time in IT.'

Pearson, 44, has formed his mind-boggling vision of the future after graduating in applied mathematics and theoretical physics, spending four years working in missile design and the past 20 years working in optical networks, broadband network evolution and cybernetics in BT's laboratories. He admits his prophecies are both 'very exciting' and 'very scary'.

He believes that today's youngsters may never have to die, and points to the rapid advances in computing power demonstrated last week, when Sony released the first details of its PlayStation 3. It is 35 times more powerful than previous games consoles. 'The new PlayStation is 1 per cent as powerful as a human brain,' he said. 'It is into supercomputer status compared to 10 years ago. PlayStation 5 will probably be as powerful as the human brain.'

The world's fastest computer, IBM's BlueGene, can perform 70.72 trillion calculations per second (teraflops) and is accelerating all the time. But anyone who believes in the uniqueness of consciousness or the soul will find Pearson's next suggestion hard to swallow. 'We're already looking at how you might structure a computer that could possibly become conscious. There are quite a lot of us now who believe it's entirely feasible.

'We don't know how to do it yet but we've begun looking in the same directions, for example at the techniques we think that consciousness is based on: information comes in from the outside world but also from other parts of your brain and each part processes it on an internal sensing basis. Consciousness is just another sense, effectively, and that's what we're trying to design in a computer. Not everyone agrees, but it's my conclusion that it is possible to make a conscious computer with superhuman levels of intelligence before 2020.'

He continued: 'It would definitely have emotions - that's one of the primary reasons for doing it. If I'm on an aeroplane I want the computer to be more terrified of crashing than I am so it does everything to stay in the air until it's supposed to be on the ground.

'You can also start automating an awful lots of jobs. Instead of phoning up a call centre and getting a machine that says, "Type 1 for this and 2 for that and 3 for the other," if you had machine personalities you could have any number of call staff, so you can be dealt with without ever waiting in a queue at a call centre again.'

Pearson, from Whitehaven in Cumbria, collaborates on technology with some developers and keeps a watching brief on advances around the world. He concedes the need to debate the implications of progress. 'You need a completely global debate. Whether we should be building machines as smart as people is a really big one.

Whether we should be allowed to modify bacteria to assemble electronic circuitry and make themselves smart is already being researched.

'We can already use DNA, for example, to make electronic circuits so it's possible to think of a smart yoghurt some time after 2020 or 2025, where the yoghurt has got a whole stack of electronics in every single bacterium. You could have a conversation with your strawberry yogurt before you eat it.'

In the shorter term, Pearson identifies the next phase of progress as 'ambient intelligence': chips with everything. He explained: 'For example, if you have a pollen count sensor in your car you take some antihistamine before you get out. Chips will come small enough that you can start impregnating them into the skin. We're talking about video tattoos as very, very thin sheets of polymer that you just literally stick on to the skin and they stay there for several days. You could even build in cellphones and connect it to the network, use it as a video phone and download videos or receive emails.'

Philips, the electronics giant, is developing the world's first rollable display which is just a millimetre thick and has a 12.5cm screen which can be wrapped around the arm. It expects to start production within two years.

The next age, he predicts, will be that of 'simplicity' in around 2013-2015. 'This is where the IT has actually become mature enough that people will be able to drive it without having to go on a training course.'

'Forget this notion that you have to have one single chip in the computer which does everything. Why not just get a stack of little self-organising chips in a box and they'll hook up and do it themselves. It won't be able to get any viruses because most of the operating system will be stored in hardware which the hackers can't write to. If your machine starts going wrong, you just push a button and it's reset to the factory setting.'

Pearson's third age is 'virtual worlds' in around 2020. 'We will spend a lot of time in virtual space, using high quality, 3D, immersive, computer generated environments to socialise and do business in. When technology gives you a life-size 3D image and the links to your nervous system allow you to shake hands, it's like being in the other person's office. It's impossible to believe that won't be the normal way of communicating.'

***Les glaces du Groenland et de l'Antarctique fondent-elles
ou s'accumulent-elles ?***
LE MONDE / 22.10.05

Si les glaces du Groenland venaient à fondre, le niveau des mers s'élèverait de 7 mètres. Si l'on y ajoutait la calotte antarctique, il monterait de 70 mètres. Une telle masse ne se liquéfierait pas en moins d'un millénaire, prédisent les modèles. Pour le Groenland, ils estiment aussi que ce phénomène pourrait commencer à se produire avant la fin du siècle, si le climat sur ce continent blanc se réchauffe de seulement 3 degrés.

Pourtant, comme souvent en climatologie, les choses ne sont pas si simples, ainsi que le rappellent deux études parues dans la revue *Science* du 21 octobre. Dans l'une, Richard Alley (Pennsylvania State University) et trois autres climatologues dressent un bilan des recherches conduites ces dernières années sur l'évolution des glaces polaires, tant au Groenland qu'en Antarctique, et son impact sur le niveau des mers. Ils concluent que tant les mesures directes que les modèles manquent de précision *"et ne sont pas capables d'évaluer si les changements en cours représentent des perturbations mineures en voie de stabilisation, ou un changement majeur qui pourrait affecter notablement le niveau des océans"*.

Cette conclusion prudente tient au fait que le réchauffement de l'atmosphère favorisé par l'accumulation de gaz à effet de serre a des effets divers selon les zones considérées : fonte des glaces d'un côté, mais augmentation des précipitations neigeuses de l'autre, par exemple. C'est le cas au Groenland, comme le montre le deuxième article de *Science*, signé par Ola Johannessen de l'université de Bergen (Norvège) et des collègues norvégien, américain et russe.

Les chercheurs ont analysé les mesures altimétriques effectuées par les satellites ERS-1 et ERS-2 entre 1992 et 2003 sur l'inlandsis groenlandais. *"Une élévation de 6,4 centimètres par an a été constatée dans les vastes zones intérieures situées au-dessus de 1 500 mètres d'altitude"*, écrivent-ils. Sous cette limite, la glace perdait 2 cm d'épaisseur par an en moyenne. Le bilan de ces phénomènes antagonistes reste cependant positif, l'épaisseur moyenne ayant crû de 60 centimètres en onze ans.

CONFUSION

Cette évolution est corrélée, pour les périodes hivernales, avec l'oscillation nord-atlantique (NAO), un phénomène qui désigne les variations de pression sur l'Atlantique nord entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande. Les vents d'ouest qui atteignent la France dépendent de cette différence de pression. Lorsque l'indice NAO est positif, ils sont forts et apportent de l'humidité sur l'Europe. C'est l'inverse quand l'indice est négatif, l'Europe étant soumise à l'influence froide de l'anticyclone de Sibérie, tandis que l'humidité a alors tendance à se transformer en neige en altitude.

"Cependant, la NAO n'explique que les trois quarts des changements d'élévation de la glace, reconnaissent Ola Johannessen et ses collègues. On ne peut que spéculer sur les autres facteurs." L'équipe indique en outre que l'altimétrie par satellite ne rend pas bien compte de l'évolution des franges du Groenland et notamment des exutoires des glaciers. *"L'ablation"* de ces zones pourrait dépasser l'élévation constatée à l'intérieur.

Cette nouvelle étude *"n'apporte que peu de chose au débat, sinon de la confusion"*, juge Eric Rignot du Jet Propulsion Laboratory à Pasadena (Californie). Ses dernières observations de terrain montrent au contraire que la perte de masse glaciaire au Groenland est 50 % plus élevée que ce qu'indiquent les études publiées jusqu'alors. *"Les glaciers accélèrent, insiste-t-il, et la plus grande partie de l'érosion se passe dans une région de 20 à 30 km le long des côtes glacières, où l'altimétrie radar ne marche pas."*

Eric Rignot n'est pas plus tendre pour l'autre article de *Science*, notamment concernant l'Antarctique, *"traité comme un gros glaçon qui fond un peu et reçoit beaucoup de neige"*. Les auteurs n'insistent, selon lui, pas assez sur l'accélération des glaciers, qui ne sont plus "tenus en laisse" par des bouchons de glace de mer, disloqués par un océan circumpolaire plus chaud. *"Je regarde les glaciers du Groenland et d'Antarctique depuis quinze ans, les changements sont profonds au Groenland, importants en Antarctique ouest, note le chercheur. Les enfouir sous le couvert de l'inconnu des changements à long terme n'est pas une démarche scientifique, mais une opinion visant sans doute à rassurer."*

Hervé Morin

Article paru dans l'édition du 23.10.05