

BULLETIN N° 88
ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 12 octobre 2004

ASSEMBLEE GENERALE
ORDINAIRE 2004

Discussion sur les thèmes de la conférence du 7 septembre
Donnée par Alain CARDON

«Poser le problème de la conscience ».

Prochaine séance : le Mardi 9 novembre 2004 :

SCIENCE ET PHILOSOPHIE
Par Alain STAHL

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

SECRETARE GENERAL : Pr. EMMANUEL NUNEZ.
TRESORIER GENERAL : BRUNO BLONDEL.
CONSEILERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. GILLES COHEN-TANNOUJJI.
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNOLOGIES : Pr. FRANCOIS BEGON
PRESIDENT DE LA SECTION DE NICE : Doyen RENE DARS.

PRESIDENT FONDATEUR
DOCTEUR LUCIEN LEVY (†)
SECRETARE GENERAL D'HONNEUR
PROFESSEUR P. LIACOPOULOS
TRESORIER GENERAL D'HONNEUR
PROFESSEUR H. NARGEOLET

octobre 2004

N° 88

TABLE DES MATIERES

- P. 5 **Compte-rendu de la séance du 12 octobre 2004 :**
- P.8 **Procès Verbal de l'Assemblée générale**
- P. 11 **Compte Rendu de la séance du 2004 de la section Nice-Côte d'Azur**
- P. 12 **Documents :**
- P. 13 **Introduction de l'ouvrage d'Alain STAHL : Science et Philosophie**
- P. 20 **Programme du congrès international : « Fractales en progrès »**
- P. 25 **L'invention des fractales et l'œuvre transdisciplinaire de Benoît Mandelbrot**
- P. 26 Analyse fractale de la distribution de ventilation dans le poumon humain**

Date de la prochaine séance :

le Mardi 9 novembre 2004 à **18 h.**, salle 215, M.S.H.

CONFERENCE sur
SCIENCE ET PHILOSOPHIE
Par Alain STAHL

A l'occasion de la parution de son ouvrage aux
Editions philosophiques VRIN

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

*Séance du
Mardi 12 octobre 2004*

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

La séance est ouverte à 18 heures.

G. BELAUBRE salue la présence de Jean-Pierre DELMONT, représentant le Doyen René DARS, Président de la Section Nice-Côte d'Azur. Il remercie aussi de sa présence notre collègue Alain CARDON, qui nous a donné des éléments originaux sur la structuration des fonctions mentales dont la discussion va être engagée.

Les excuses de François BEGON, Bruno BLONDEL, René DARS, Henri GULAND, Emmanuel NUNEZ, Pierre SIMON, Alain STAHL, sont présentées.

L'ordre du jour appelle l'Assemblée Générale 2004.

**ASSEMBLEE GENERALE ORDINAIRE
Du 12 octobre 2004**

Le Président ouvre l'Assemblée Générale en présence de 11 membres actifs. Jean-Pierre DELMONT dispose d'un pouvoir ; Gilbert BELAUBRE dispose d'un pouvoir. 13 membres sont présents ou représentés.

Le Trésorier Général a fait savoir que les membres actifs étaient à jour de leurs cotisations et que la section de Nice avait acquitté sa capitation.

G. BELAUBRE exprime les regrets d'Emmanuel NUNEZ, Secrétaire Général, retenu en Italie par un congrès de Systémique, et qui a en charge l'AFSCET. Cette Association, comme la nôtre, ne reçoit pas de subventions des organismes officiels et elle représente une charge qui l'empêche de se consacrer à l'Académie. Il a donc convenu, avec G. BELAUBRE, qu'il renoncerait pour l'instant à faire partie du Bureau de l'Académie. et d'un commun accord, ils ont souhaité solliciter la candidature de Michel GONDRAN. Ce dernier voit actuellement aboutir favorablement les efforts de dix années de travaux innovants en Physique fondamentale, puisque ses publications commencent à paraître dans les revues consacrées. Il a donc encore beaucoup à accomplir, mais dans ces circonstances heureuses, il accepte de collaborer aux travaux de l'Académie. Irène HERPE-LITWIN se déclare également prête à aider. Tous deux l'ont manifesté en prenant part à la rédaction des deux derniers bulletins. G. BELAUBRE les en remercie.

G. BELAUBRE présente le rapport d'activité, avec le concours de Jean_Pierre DELMONT pour ce qui concerne la Section de Nice.

Irène HERPE-LITWIN, qui avec notre collègue Gérard LEVY, a vérifié les comptes, présente au nom de Bruno Blondel le rapport financier, et donne les conclusions favorables des vérificateurs. Le rapport financier est adopté à l'unanimité.

G. BELAUBRE va donc proposer à l'Académie l'élection de Michel GONDRAN et d'Irène HERPE-LITWIN comme Secrétaire Général et Secrétaire Général-Adjoint. Dans ces conditions, et s'il n'y a pas d'autre candidature, il acceptera de solliciter, cette année encore, le renouvellement de son mandat. Il souhaite que cette élection se fasse à bulletins secrets. Le vote apporte 11 bulletins pour G. BELAUBRE et deux bulletins blancs.

Le vote en faveur du nouveau bureau est acquis à l'unanimité, à mains levées

Pas d'autres questions n'ayant été présentées, l'Assemblée Générale est clôturée à 18 h. 35.

Discussion sur la conférence d'Alain Cardon.

Michel GONDRAN qui avait demandé à Alain CARDON s'il avait quelque exemple permettant d'étayer son exposé sur la conscience artificielle, a trouvé dans le dernier ouvrage d'Alain CARDON, « Modéliser et Concevoir une Machine Pensante » un exemple mettant en évidence toute la richesse de la modélisation.

Gilbert BELAUBRE pense qu'aucune représentation ne peut exister sans une mémoire. La *Mémoire* serait à la base de tout notre *Mental*.

S'ensuit une discussion sur cette primauté de la mémoire :

La mémoire (informatique ?) serait une métaphore, un ensemble adressé avec des chaînes de bits.

Se posent alors les problèmes : Pourquoi un système qui génère des émotions ou des pensées se met-il à fonctionner ? Pourquoi mémorise-t-on ? pourquoi une émotion est-elle retenue ? pourquoi y aurait-il autonomie du système qui mémorise ?

Selon Alain CARDON, tout ceci produirait « du calculable ». La mémoire produirait une organisation du système qui serait oscillant. Ceci ferait appel à des schémas organisationnels. Alain CARDON se réfère au modèle de la mémoire d'EDELMAN : l'enregistrement d'une donnée produirait l'excitation d'un groupe de neurones. Cette activation s'atténue ensuite et il y a ensuite une réactivation de la stimulation. La durée n'existerait que par cet effet rétroactif de la restimulation.

Gérard LEVY suggère que n'importe quel système pourrait avoir un comportement humain s'il possédait suffisamment de mémoire...

Gilles COHEN TANNOUDI pose le problème de la représentation par un système de machines et par extension le rôle de la société, des systèmes en réseaux.

Gilbert BELAUBRE pose le problème de la nécessaire intersubjectivité pour que le langage existe

S'agissant de l'organisation de la mémoire, Alain CARDON suggère l'absence de localisation de la conscience dans des groupes neuronaux. Ce qui importe ce sont les formes, la topologie des connexions. Il insiste sur le caractère formel et non matériel du processus ce qui est beaucoup plus économique

G. BELAUBRE était ce propos en évoquant les boucles synchrones de Singer qui tendent à interpréter la conscience non seulement comme le fonctionnement d'une topologie cervicale, mais comme le rapport dynamique d'ensembles synchrones.

Alain CARDON insiste à nouveau sur le caractère formel. Pour lui les ressurgissements en mémoire seraient liés aux affects, aux entrées dans le système.

Le Dr. Pierre MARCHAIS pose le problème : « Comment passer du signe perçu à l'objet du signe ? »

Cette question sous-tend l'ensemble des phénomènes qui aboutissent à la formation de concepts. G ; BELAUBRE évoque le travail fortement réducteur du cerveau ; il considère que la « réduction » est ce qui « apporte du sens ». Pierre MARCHAIS reprend la discussion sur « réduction » et « abstraction ». Pour G. BELAUBRE, l'abstraction est la construction symbolique qui se dégage des données de la conscience. Mais ces données elles-mêmes ne sont pas brutes, elles sont « réduites », c'est à dire que sont préférentiellement retenues les données permettant de représenter des ensembles de signes en leur conférant une base de représentation commune, et , partant, un signifiant.

Cette discussion extrêmement riche met en évidence le progrès des recherches pour intégrer aux constructions artificielles la variété et les innombrables interactions dont l'ensemble produit la globalité qui constitue une conscience.

Avant de lever la séance, G. BELAUBRE annonce le contenu des prochaines réunions ;
Le 9 Novembre, notre collègue Alain STAHL nous présentera le résultat de ses travaux épistémologiques et son ouvrage « Science et Philosophie », en cours de parution aux Editions Philosophiques VRIN.

En Décembre, le Pr. José SAHEL nous présentera ses travaux sur la régénération du système nerveux oculaire.

La séance est levée à 20 h.

Bien amicalement à vous.

(Numéro préparé par I. H-L, M. G. et G. B.)....

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

PROCES-VERBAL DE L'ASSEMBLEE GENERALE 2004.

L'Assemblée Générale 2004 est ouverte le 12 Octobre 2004, à la Maison de Sciences de l'Homme, salle 215 à 18 heures.

9 membres actifs sont présents. Le Pr. Jean-Pierre DELMONT représente le Doyen René DARS, Président de la Section de Nice. Il dispose d'un pouvoir. Gilbert BELAUBRE dispose également d'un pouvoir. Au total, 11 membres sont présents ou représentés.

L'ordre du jour appelle successivement :

- 1 – La présentation du rapport d'activité, et le vote.
- 2 - La présentation du rapport financier et du rapport des vérificateurs des comptes, et le vote.
- 3 - L'élection du nouveau Bureau.

I - Présentation du Rapport d'activité :

Rappel des thèmes abordés au cours de l'année écoulée pour les sections de Paris et de Nice

PARIS

11 séances mensuelles au cours desquelles ont été présentées les conférences suivantes :

- mardi 18 novembre 2003 : respectivement par François BEGON et Gilbert BELAUBRE « Le colloque sur les Fractales » et « Que sont, et à quoi servent les Fractales ? »
- mardi 9 décembre 2003 : par Michel GONDRAN en mécanique Quantique « Trois Modèles Imbriqués, à trois Echelles Différentes »
- mardi 13 janvier 2004 : par le Dr Gabriele LOSA « La Géométrie Fractale Peut-elle aider à la Compréhension de la Complexité Biologique ? »
- mardi 10 février 2004 : par Gilles COHEN-TANNOUDJI , « Une Route Thermodynamique pour la Cosmologie Quantique »
- mardi 24 février 2004 : par Michel CABANAC de « Emergence de la Conscience au cours de l'Evolution des Etres Vivants »
- mardi 9 mars 2004 : par Marina CAVAZZANA-CALVO
- mardi 13 avril 2004 : par Jean Jacques KUPIEC et Bertrand LAFORGE de « Simulation de Modèles de Hasard Sélection »
- mardi 11 mai 2004 : par Françoise DUTHEIL de « Energies : Quels Scénarios pour Demain ? »
- mardi 18 juin 2004 : par Christian N'GÔ de « De la Micro à la Nanoélectronique »
- mardi 7 septembre 2004 : par Alain CARDON de « Poser le Problème de la Conscience »
- mardi 12 octobre 2004 : Assemblée Générale et Discussion avec Alain CARDON sur sa conférence précédente.

En préparation : Le congrès international « Fractales en progrès », sous la présidence de Benoît MANDELBROT les 12 et 13 novembre 2004.

NICE : 10 séances mensuelles

Conférences –débat sur la psychothérapie (titres de psychothérapeute, prise en charge par l'Assurance-maladie en avril 2004)

Conférence du Pr Jean-Pierre DELMONT le samedi 5 juin sur : « Une maladie mortelle par excès de fer qui devrait disparaître : l'hémochromatose »

Colloques :

- « La Science en Mouvement » le 6 décembre 2003 à l'initiative de Pierre COULLET
- « Découvrir la Science » les 2 et 3 avril 2004 relatif à la désaffection des étudiants pour les disciplines scientifiques
- Un débat entre André FRATINI et Guy DAR COURT sur les Psychanalyses.

En projet :

- Création d'une Maison de la Science à Nice en association avec ICRANET et avec l'accord de M. le Sénateur Maire de Nice, M. Le Recteur de l'Université de Nice et M. le Président de l'Université de Nice

Admission de nouveaux membres :

Au cours de l'année, 5 nouveaux membres ont été admis :

18 novembre 2003	section de Paris	Pr Christian N'GÔ
10 Février 2004	section de Paris	Pr Michel CABANAC
10 février 2004	section de Paris	Pr Alain CARDON
19 février 2004	section de Nice	Pr René BLANCHET ancien recteur des universités
11 mai 2004	section de Paris	Dr Roberto Zonta

Le rapport d'activités est soumis au vote. Le quitus est obtenu à l'unanimité des votants.

II - Présentation du rapport financier.

Il est ensuite procédé à l'examen du rapport financier, présenté par Irène HERPE-LITWIN , vérificateur des comptes, en l'absence du Trésorier Général, Bruno BLONDEL, et complété par l'avis favorable des vérificateurs des comptes.

Le compte courant bancaire reflète toutes les opérations effectuées

Solde le 14 octobre 2003 :	11135,48euros
Recettes de l'exercice :	3960,00euros
Dépenses de l'exercice :	6516,66euros
Solde au 10 octobre 2004	8578,83euros

Les recettes représentent un virement de l'Université de Poitiers, les cotisations des membres des sections de Nice et Paris, ainsi que les premières recettes sur le congrès « Fractales en progrès ». Les dépenses représentent les dépenses courantes parmi lesquelles l'édition du bulletin.

Les vérificateurs des comptes, Irène HERPE-LITWIN et Gérard LEVY, présentent leur rapport : ils ont examiné l'ensemble des documents et des comptes tenus par le trésorier et les ont trouvés sincères et parfaits

Le rapport financier est adopté à l'unanimité.

III – Election du Bureau pour 2004-2005.

Gilbert BELAUBRE fait part à l'Assemblée du désir du Secrétaire Général Emmanuel NUNEZ d'être provisoirement déchargé de ses fonctions et il annonce qu'il proposera à l'Assemblée Générale d'élire Michel GONDRAN et Irène HERPE-LITWIN respectivement comme Secrétaire Général et Secrétaire général adjoint . Dans ces conditions il accepte de se présenter cette année encore à la fonction de Président. Il souhaite que ce vote particulier soit fait à bulletins secrets.

Le scrutin, à bulletins secrets, ayant apporté 9 voix pour et 2 abstentions, Gilbert BELAUBRE est donc réélu Président.

Il propose de passer à l'élection du nouveau Bureau comprenant :

- Secrétaire Général : Michel GONDRAN
- Secrétaire Général Adjointe : Irène HERPE-LITWIN
- Trésorier Général : Bruno BLONDEL
- Conseiller pour les Sciences de la Matière : Gilles COHEN-TANNOUDJI
- Conseiller pour les Sciences de la vie et des Biotechnologies: François BEGON

Le nouveau bureau est élu à l'unanimité des votants par un vote à mains levées.

Aucune question n'ayant été ajoutée à l'ordre du jour, la clôture de l'Assemblée Générale est prononcée à 18h.35..

Comptes-Rendus 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)*

Documents

- P. 13 Introduction de l'ouvrage d'Alain STAHL : Science et Philosophie
- P. 20 Programme du congrès international : « Fractales en progrès »
- P. 25 L'invention des fractales et l'œuvre transdisciplinaire de Benoît Mandelbrot
- P. 26 Analyse fractale de la distribution de ventilation dans le poumon humain

Conférence de notre collègue

Alain STAHL

à l'occasion de la parution de son ouvrage

SCIENCE ET PHILOSOPHIE

Rivales, étrangères, ou complémentaires ?

Essai d'une philosophie de la nature, moderne

avec une préface d'Anne Fagot-Largeault
et une postface de Jean Gayon

Collection dirigée par Michel Delsol

*Librairie philosophique J. Vrin
6, place de la Sorbonne*

2004

*Institut Interdisciplinaire
d'études Epistémologiques*

Nous donnons ci-après

L'introduction

La Table des matières de l'ouvrage.

INTRODUCTION

« La clarté est la bonne foi des philosophes ».
Vauvenargues

« Les ouvrages de philosophie ne sont faits que pour les philosophes, et tout honnête homme doit chercher à être philosophe, sans se piquer de l'être »
Voltaire

« La plupart du temps, on n'est jamais lu. Il faut savoir se contenter de la bonne opinion qu'on éprouve soi-même pour ses jugements et ses écrits »
Stendhal

Historiquement, la philosophie a précédé la science. L'homme s'est posé des questions sur l'univers où il vivait et sur lui-même. Il a commencé par forger des mythes. Ses premières tentatives de réflexion rationnelle et systématique, ont été en occident celles des grecs, conjuguant philosophie, mathématiques, et rudiments de sciences expérimentales. Celles-ci ne se sont constituées que beaucoup plus tard en disciplines autonomes : une physique authentique n'apparaît qu'avec Galilée, une chimie qu'avec Lavoisier ; la biologie ne commence réellement qu'au dix-neuvième siècle ; la linguistique qu'il y a cent ans ; les sciences cognitives qu'il y a cinquante ans.

Depuis, les progrès de la science, soit théorique, soit appliquée, ont été exponentiels (comme aussi le nombre de savants : il y a plus de savants vivants qu'il n'y en a jamais eu au total dans les générations antérieures). Qu'il s'agisse de la relativité générale appliquée à l'infiniment grand de la cosmologie, ou des théories quantiques qui scrutent l'infiniment petit des atomes et des particules sub-atomiques, la *physique* nous révèle un monde gouverné par des *mathématiques* d'une grande complexité et profondément différent de celui de notre perception courante. La *biologie* montre l'extraordinaire complexité qui caractérise le moindre être vivant, tandis que notre cerveau est probablement l'objet le plus sophistiqué de l'univers. Sur notre terre, l'évolution des espèces résulte d'une combinaison de hasard et de sélection. Les *sciences cognitives* (et, pour la technologie, les ordinateurs) connaissent un développement vertigineux. A mesure de ses progrès, chacune de ces sciences pose, de nouvelles questions, à l'honnête homme comme au philosophe.

Ce dernier, devant ce foisonnement, a vu progressivement son domaine se restreindre. A l'origine, il était le seul à poser les questions et donner des réponses. Parfois avec ce qui nous semble aujourd'hui bien léger (pensons aux quatre éléments des grecs) ; parfois avec d'étonnantes intuitions (toujours chez les anciens, celles de l'infini, des atomes, de l'irréversibilité, de la sélection naturelle). Au dix-septième siècle, l'esprit universel qu'était Leibniz pouvait apporter des contributions majeures aussi bien à la science qu'à la philosophie. Les analyses de Kant ont pu ensuite, sinon précéder la mécanique céleste, au moins préciser son cadre conceptuel. Aujourd'hui, la contribution des philosophes à la compréhension de la physique contemporaine vient généralement « après la bataille ». Les énormes progrès de la biologie et des sciences cognitives posent en termes nouveaux les problèmes de la vie, de la conscience ou de l'esprit, que les philosophes « généralistes » – souvent – peinent à suivre.

Devant ce constat, beaucoup de scientifiques, en particulier s'ils travaillent dans les « sciences dures », en viennent à douter de l'intérêt de la philosophie.

Depuis un siècle, la plupart des philosophes se sont éloignés de la science. Certes, les néo-kantiens ont fait des analyses, souvent pertinentes, des nouvelles théories physiques. Certes, Husserl, mathématicien de formation, a voulu créer une nouvelle science quand il a élaboré sa phénoménologie. Mais l'œuvre de Heidegger, typique de beaucoup d'autres, pose une discontinuité majeure entre la philosophie et la science.

Le cas des grands moralistes, comme V. Jankélévitch, E. Jonas, E. Levinas ou P. Ricoeur, est particulier : l'essentiel de leur œuvre n'utilise que peu la science « dure » ; il reste un point de contact important à propos des problèmes de bioéthique.

Un retrait bien différent est celui qu'incarne l'épistémologie¹, discipline relativement récente (à quelques exceptions près). En un sens, elle reconnaît la primauté de la science et se limite à en discuter les méthodes et les concepts. Elle a dépendu trop longtemps, d'abord d'une philosophie analytique trop rigide, puis d'une philosophie du langage trop exclusive. Rares sont ses adeptes qui, comme K. Popper, ont essayé d'avoir une vision globale de la science (et dans les affirmations de celui-ci, beaucoup a vieilli). On doit constater que, discipline hybride, elle n'intéresse guère les scientifiques, qui sont rebutés par son aspect facilement ratiocinateur, ni les philosophes purs, plus intéressés par l'ontologie, qui y suspectent une mésalliance.

Il n'en reste pas moins que la science moderne apporte un éclairage nouveau à beaucoup de concepts importants : espace et temps, déterminisme et causalité, hasard et possible, réalité et vérité, fini et infini... et même à d'autres concepts nous touchant encore plus intimement (que nous soyons philosophe, théologien ou simplement homme) : esprit, conscience, liberté...

Nous regrettons donc que le philosophe se soit trop fréquemment désintéressé de la science. En revanche, il est bon que – la connaissant - il conserve à son égard une certaine distanciation, et apporte d'autres points de vues ; pensons en particulier à la phénoménologie.

Le but de cet ouvrage est donc de réconcilier science et philosophie. Sa méthode est de partir de la science et, progressivement, d'examiner les différents concepts qu'elle éclaire, et certaines positions philosophiques antérieures, qu'elle nous oblige à réviser (une première partie traite de l'inanimé, la deuxième du vivant). Il mettra parallèlement l'accent sur les incertitudes de la science, dans une sorte de « critique scientifique » (comme il y a une critique littéraire). Il croit que la science a une certaine *unité*, donc considère successivement toutes les sciences², avec une rançon : sauf à écrire des milliers de pages – entreprise, qui dévierait cet ouvrage de ses buts essentiels, et serait probablement hors de portée – ce souci de *globalité* oblige à condenser chaque question particulière, et se situe donc assez loin de la pratique courante de l'épistémologie (on tentera, dans les conclusions générales, de justifier ce choix).

La troisième partie reprendra ces différents concepts, mais dans une perspective *globale* et – espérons le – *cohérente*, dans le cadre d'un réalisme mesuré – choix qui sera expliqué.

Ainsi, la progression de l'ouvrage ira de la science à la philosophie.

Le chapitre **19** commentera le sous-titre : « essai d'une *philosophie de la nature*, moderne ».

Cet ouvrage fait de l'épistémologie et non de l'histoire des sciences. Certes, la deuxième apporte des éclairages utiles à la première, mais la science a tellement progressé que les conclusions épistémologiques, tirées d'exemples se référant à un « passé lointain » (antérieur à 1900 ?), perdent souvent de leur pertinence. L'ouvrage ne se demande pas non plus pourquoi une recherche est efficace, ne fait pas de sociologie des sciences,³ et ne traite pas des techniques.

¹ A la différence des anglo-saxons, qui distinguent clairement « epistemology » (théorie de la connaissance) de « philosophy of science » (étude plus spécifique des sciences), le mot français « épistémologie » est ambigu : pour certains, à l'opposé des anglo-saxons, il se limite à la seule *philosophie des sciences* ; pour d'autres, il comprend aussi la *théorie de la connaissance*. Cet ouvrage retiendra le sens large.

² L'ouvrage ne traite pas des sciences humaines ou sociales, car – sans aller jusqu'à suivre C. Levi-Strauss, pour qui « les sciences sociales ne sont des sciences que par une flatteuse imposture » - il considère que leurs méthodes sont sensiblement différentes de celles des sciences « dures ». Trois exceptions cependant : il était nécessaire de considérer les *sciences cognitives*, qui posent des problèmes philosophiques majeurs et dont une partie d'ailleurs peut être classée avec les sciences dures ; il ne fallait pas non plus oublier la *linguistique*, étant donné le rôle éminent que la philosophie du langage tient dans la philosophie et dans l'épistémologie contemporaines. Enfin, ayant été au début de ma carrière très impliqué dans les questions d'économie, j'ai émis (à l'annexe A) quelques jugements sur l'état présent de cette discipline.

³ Dans les références générales, on trouvera cependant quelques noms de « sociologues des sciences ».

A côté des épistémologues et des philosophes, le public visé est celui des scientifiques s'attachant aux fondements de la connaissance. La science contemporaine est complexe ; chaque chapitre spécialisé a demandé une longue plongée dans la discipline correspondante. Ce qui était trop technique a généralement été explicité dans des notes ou rejeté dans des annexes. Ce qui est bien connu du biologiste ne l'est pas du physicien, et inversement ; ceci a pu compliquer la rédaction !⁴.

Les références spécialisées sont données à la fin de chaque chapitre, les références générales à la fin de l'ouvrage.

qui est bien connu du biologiste ne l'est pas du physicien, et inversement ; ceci a pu compliquer la rédaction !⁵.

Les références spécialisées sont données à la fin de chaque chapitre, les références générales à la fin de l'ouvrage.

TABLE DES MATIERES.

Préface d'Anne Fagot-Largeault, professeur au Collège de France

INTRODUCTION	1
<i>Remerciements</i>	5
PREMIERE PARTIE. LE MONDE INANIME	9
CHAPITRE 1. LA PHYSIQUE ET SA MATHEMATISATION	
<i>Nous fait-elle accéder à du réel ?</i>	11
CHAPITRE 2. LA PHYSIQUE DETERMINISTE.	
<i>Ce qu'elle apporte à la notion de causalité. Les conditions initiales</i> 15	
1. Le déterminisme en mécanique et physique classiques	15
2. Le déterminisme et les théories de la relativité	16
3. Le déterminisme aujourd'hui	17
4. La dépendance causale	19
5. Les conditions initiales	20
6. La physique déterministe et les probabilités	20
7. Déterminisme et matérialisme	21
CHAPITRE 3. LA RELATIVITE. LA COSMOLOGIE.	
<i>Ce qu'elles apportent aux notions d'espace et de temps, de relatif et d'absolu</i>	23
1. La relativité restreinte	23
2. La relativité générale	24
3. L'astronomie et la cosmologie. La structure actuelle de l'univers.	
Son passé. Son futur. Les incertitudes de la cosmologie	25
4. Les notions d'absolu, de relatif et d'intrinsèque,	
en relativité générale et en cosmologie relativiste	29
5. L'action à distance	30
Conclusions	31

⁴ J'ai commencé par une thèse de philosophie, faite à l'Université de Paris-XII sous la direction de J. Largeault, soutenue en 1994, qui a bénéficié des félicitations du jury. Je l'ai développée ensuite en un gros traité de philosophie de la nature (dernière mise à jour : 2002), qui reste pour moi mon oeuvre principale ; mais son aspect encyclopédique et sa difficulté technique m'ont conduit à une autre option : celle d'en reprendre les thèmes principaux, parfois mot pour mot dans certaines analyses, parfois très résumé et simplifié, dans ce texte, que j'espère plus accessible, sans avoir perdu l'essentiel.

Les lecteurs du nouveau texte seront peut-être intéressés par des *développements* du texte antérieur plus difficiles (et souvent originaux), ou portant sur des sujets plus spécialisés. Certains d'entre eux ont donc été re-rédigés sous forme d'*annexes* de « Science et philosophie » (repérées par des majuscules) et mises sur mon site Internet (<http://monsieur.wanadoo.fr/alainstahl>). Leur liste figure à la fin de la table des matières.

⁵ J'ai commencé par une thèse de philosophie, faite à l'Université de Paris-XII sous la direction de J. Largeault, soutenue en 1994, qui a bénéficié des félicitations du jury. Je l'ai développée ensuite en un gros traité de philosophie de la nature (dernière mise à jour : 2002), qui reste pour moi mon oeuvre principale ; mais son aspect encyclopédique et sa difficulté technique m'ont conduit à une autre option : celle d'en reprendre les thèmes principaux, parfois mot pour mot dans certaines analyses, parfois très résumé et simplifié, dans ce texte, que j'espère plus accessible, sans avoir perdu l'essentiel.

Les lecteurs du nouveau texte seront peut-être intéressés par des *développements* du texte antérieur plus difficiles (et souvent originaux), ou portant sur des sujets plus spécialisés. Certains d'entre eux ont donc été re-rédigés sous forme d'*annexes* de « Science et philosophie » (repérées par des majuscules) et mises sur mon site Internet (<http://monsieur.wanadoo.fr/alainstahl>). Leur liste figure à la fin de la table des matières.

CHAPITRE 4. LA PHYSIQUE QUANTIQUE

Le hasard, en mathématiques, en physique et en philosophie.

<i>Le réel de la physique quantique</i>	33
1. Physique quantique, déterminisme, et probabilités	34
2. Le « réel » de la physique quantique	36
3. Physique quantique et mesures	38
4. Les performances et les problèmes ouverts.....	39
Conclusions.....	41
<i>Annexe 4. Les probabilités bayésiennes</i>	41

CHAPITRE 5. LA PHYSIQUE STATISTIQUE.

<i>La flèche du temps</i>	45
1. L'application de la physique statistique à la thermostatique.....	46
2. Présentation générale des problèmes liés à la flèche du temps	48
3. L'application de la physique statistique à la thermodynamique de l'irréversibilité 48	
4. La flèche du temps en cosmologie	54
Conclusions.....	54

CHAPITRE 6.

LE REDUCTIONNISME A L'INTERIEUR DE LA PHYSIQUE

<i>Peut-on espérer y obtenir une théorie universelle ?</i>	57
1. Le réductionnisme en général.	
Les relations asymptotiques entre théories. L'émergence	57
2. Le réductionnisme à l'intérieur de la physique.	
L'unité de la physique des particules.	
La réduction de la physique macroscopique à la physique des particules.	
L'exemple de la chimie. Quelques autres exemples	63

CHAPITRE 7. CONCLUSIONS SUR LA PHYSIQUE

<i>Annexe 7-1. Induction (et abduction)</i>	73
<i>Annexe 7-2. La valeur des théories physiques</i>	74

CHAPITRE 8. LES MATHÉMATIQUES

<i>Nous font-elles accéder à du vrai ?</i>	77
1. La logique mathématique	78
2. Le dilemme de l'arithmétique	79
3. Le vrai et le prouvable.....	81
4. Le vrai dans le reste des mathématiques	83
Conclusions.....	85
<i>Annexe 8. La philosophie des mathématiques</i>	87

DEUXIEME PARTIE. LE VIVANT..... 89

CHAPITRE 9. LA BIOLOGIE

<i>Ses liens avec la physico-chimie</i>	91
1. Quelques caractéristiques de la biologie.....	91
2. Les relations de la biologie avec la physico-chimie	93
3. Evolution de nos connaissances sur l'ADN et du concept de gène 94	
4. Les incertitudes de l'ontogénèse.....	95
5. La génétique mendélienne est-elle réductible à la biologie moléculaire ?	100

CHAPITRE 10. LE CERVEAU ET L'ESPRIT

<i>La conscience, la liberté. Les relations du mental et du cérébral</i>	
LES SCIENCES COGNITIVES	103
1. Quelques données sur le cerveau	104
2. La comparaison entre cerveau et ordinateur.	
Les sciences cognitives	106

3. L'épigénèse du cerveau	108
4. Le cerveau, l'esprit, la conscience, la liberté	110
5. Quelques aspects philosophiques	117

Annexe 10-1. Quelques positions marquantes dans le débat :

<i>matérialisme versus dualisme</i>	120
<i>Annexe 10-2. L'intelligence artificielle.....</i>	126

CHAPITRE 11. PENSEE ET LANGAGE..... 131

1. Généralités	132
2. Le « langage de la pensée »	135
3. Les langues naturelles	137
4. Le langage est-il inné ou acquis ?	138
5. La linguistique	139
Conclusions.....	140
<i>Annexe 11. Les excès des jeux de langage</i>	142

CHAPITRE 12. LES DISCIPLINES HISTORIQUES

Peut-on leur appliquer des raisonnements probabilistes ?

LE POSSIBLE. Le contrafactuel.....	147
1. Les probabilités dans les sciences historiques	148
2. Le possible. Les mondes possibles, le principe anthropique	150

CHAPITRE 13. L'ORIGINE DE LA VIE..... 155

1. L'apparition des premières molécules biochimiques.....	155
2. L'origine de la vie proprement dite	156
3. L'origine unique de la vie sur terre.....	158

CHAPITRE 14. L'EVOLUTION..... 161

Introduction	161
1. La notion d'espèce	162
2. La spéciation	163
3. Les mécanismes darwiniens. La génétique des populations	164
4. Les enseignements des sciences naturelles : zoologie et botanique ; paléontologie ; génétique.....	167
5. Essai de conclusions	171
<i>Annexe 14-1. La taxinomie. Les classifications scientifiques</i>	174
<i>Annexe 14-2. La finalité</i>	177
<i>Annexe 14-3. Les philosophes, les médias et le concept de sélection naturelle</i>	179

CHAPITRE 15. LA COMPLEXITE EN BIOLOGIE..... 187

1. Quelques généralités sur complexité, information, programmes (et ordre)	188
2. Application au vivant	189
3. L'auto-organisation, les mécanismes darwiniens, et les enseignements des réseaux de neurones	190
4. Les systèmes.....	191
<i>Annexe 15. Les points de vue de F. Varela et de S. Kauffman</i>	192

CHAPITRE 16. CONCLUSIONS SUR LE VIVANT 197

TROISIEME PARTIE.

QUELQUES APPROCHES PHILOSOPHIQUES 201

CHAPITRE 17.

QUELQUES CONCLUSIONS GENERALES SUR LA SCIENCE 203

1. L'unité de la science.....	203
2. Les incertitudes de la science	204

CHAPITRE 18.
BREVE ANALYSE DE L'ÉPISTEMOLOGIE CONTEMPORAINE 209

CHAPITRE 19.
LES REGARDS POSSIBLES DE LA PHILOSOPHIE SUR LA SCIENCE. LA PHILOSOPHIE DE LA NATURE 215

1.L'apport des philosophes aux progrès et à la justification de la science.....	216
2.L'évolution des concepts.	
La place d'une « philosophie de la nature »	218

CHAPITRE 20. QUELQUES PISTES PHILOSOPHIQUES. 221

Remarques finales	234
Annexe 20. Réalisme, nominalisme et instrumentalisme	235

CHAPITRE 21.

RAPPEL DE QUELQUES POSITIONS PERSONNELLES

(dans le domaine de la science)	237
Quelques conclusions pratiques	239
Références générales	241
Index des auteurs.....	245

Pour mémoire, annexes mises sur mon site Internet (<http://monsieur.wanadoo.fr/alainstahl>).

Postface de Jean Gayon, professeur à l'Université de Paris1-Panthéon Sorbonne.

- A. *Le cas de l'économie.*
- B. *Les modèles d'ordre dense utilisables en physique.*
- C. *Les variétés différentielles et la notion d'intrinsèque en relativité générale.*
- D. *La dépendance causale en relativité générale.*
- E. *Le principe de Mach.*
- F. *L'appareil mathématique de la physique quantique et de la théorie quantique des champs. Les théories de cordes.*
- G. *Les problèmes de renormalisation, d'échelle et de fractalité.*
- H. *La théorie mathématique des probabilités. Son application aux sciences expérimentales.*
- I. *L'ergodicité.*
- J. *Quelques compléments de logique mathématique.*
- K. *Le constructivisme.*
- L. *L'apport de la théorie des topos à la logique mathématique.*
- M. *Stéréochimie et biochimie. L'exemple du système immunitaire.*
- N. *La chiralité.*
- O. *Quelques calculs de génétique des populations.*
- P. *Quelques compléments sur l'autoréférence.*
- Q. *Les citations de l'ouvrage dans leurs langues originales.*

PROGRAMME DU CONGRES « FRACTALES EN PROGRES »

COMITE SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME

Président d'Honneur : Professeur Benoît MANDELBROT

fractal@watson.ibm.com

Président : F. BEGON (France)

francoisbegon@aol.com

Vice-Président : B. SAPOVAL (France)

bernard.sapoval@polytechnique.fr

Secrétaire scientifique : V. MASTRANGELO (France)

mastrangelo@cnam.fr

Membres : M. AUSLOOS

(Belgique) marcel.ausloos@ulg.ac.be

A. BALDASSARRI

(Italie) andrea.baldassarri@roma1.infn.it

J. BARRAL (France)

julien.barral@inria.fr

G.

BELAUBRE (France) gbelaubre@free.fr

M. COPPENS

(Hollande) m.o.coppens@tmw.tudelft.nl

P. COULLET (France)

pierre.coulet@inln.cnrs.fr

M. DEKKING (Hollande)

f.m.dekking@math.tudelft.nl

M. GONDRAN (France)

gondran@chello.fr

J. LEVY-VEHEL (France)

mailto:%20jacques.levy-vehel@inria.fr

G. LOSA (Suisse)

glosa@cerfim.ch

D. SCHERTZER (France)

daniel.schertzer@cereve.enpc.fr

C. WALTER (France)

christian.walter@fr.pwc.com

FRACTALES EN PROGRÈS

8 h 30 *Accueil des Participants*

SESSION D'OUVERTURE 9 h 15 – 12 h 30 (*Vendredi - Matin 12 novembre*)

Introduction - Systèmes dynamiques - Percolation - Génie chimique

9 h 15 Présentation du Colloque

Président : François BEGON (Université de Poitiers & Académie interdisciplinaire)

Vice-Président : Bernard SAPOVAL (CNRS, Ecole Polytechnique)

**L'INVENTION DES FRACTALE ET L'ŒUVRE TRANS – DISCIPLINAIRE
DE B. MANDELBROT**

par M. Gilbert BELAUBRE, Président de l'Académie interdisciplinaire des sciences

9 h 30 HISTOIRE DES FRACTALES

Benoît B. MANDELBROT (Département de Mathématiques ; Université de Yale)

9 h 50 Discussion

10 h 00 La Géométrie fractale de la nature comme inspiratrice de nouvelles technologies en génie chimique

Marc-Olivier COPPENS (Université Technologique de Delft ; Hollande)

10 h 20 Discussion

10 h 30 *Pause Café*

11 h 00 La Percolation en gradient : des fronts de diffusion aux fronts de mer

Andréa BALDASSARRI (Université de Rome)

11 h 20 Discussion

11 h 30 **Criticalité auto-organisée et systèmes dynamiques**

Bruno CESSAC (Institut de Non-Linéarité ; Université de Nice))

11 h 50 Discussion

12 h 00 **Fractales aléatoires, turbulence, galaxies, Cantors**

Michel DEKKING (Université Technologique de Delft, Hollande)

12 h 20 Discussion

12 h 30 Fin de la session

2^{ème} SESSION 14 h 00 – 18 h 00 (Vendredi – Après-midi 12 novembre)
Analyse multifractale : Images et Signaux, Turbulence, Géophysique

Président : Bernard SAPOVAL (CNRS, Ecole Polytechnique)

Vice-Président : Victor MASTRANGELO (CNAM, CNRS & Académie interdisciplinaire)

14 h 00 **Fondements et Développements de l'Analyse multifractale**

Stéphane JAFFARD (Centre de Mathématiques, Université Paris XII)

14 h 20 Discussion

14 h 30 **Mesures et dimensions : de Hausdorff aux spectres multifractals**

Claude TRICOT (Université de Clermont - Ferrand)

14 h 50 Discussion

15 h 00 **Spectre de dimensions des objets et processus multifractals**

Julien BARRAL (I.N.R.I.A. ; Projet Fractales)

15 h 20 Discussion

15 h 30 **Modélisation et analyse multifractales des Images et Signaux :
 débruitage, compression, interprétation**

Jacques LEVY - VEHEL (I.N.R.I.A.. ; Projet Fractales)

15 h 50 Discussion

16 h 00 *Pause Café*

16 h 30 **Généralisation de l'analyse multifractale aux champs vectoriels à l'aide de la
 transformée en ondelettes ; application à l'étude des champs 3D de vitesse et de
 vorticité en turbulence pleinement développée**

Alain ARNEODO (CNRS, Laboratoire de Physique, E.N.S. de Lyon)

16 h 50 Discussion

17 h 00 Les multifractales en Turbulence et Géophysique*Daniel SCHERZER (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées)***17 h 20 Discussion****17 h 30 Débat : Bilan et Perspectives de l'Analyse multifractale***S. JAFFARD, V. MASTRANGELO, A. ARNEODO, J. BARRAL,
C. TRICOT, J. LEVY-VEHEL, B. MANDELBROT, D. SCHERZER***18 h 00 Fin de la session****3^{ème} SESSION 9 h 00 – 12 h 30 (Samedi - Matin 13 novembre)**
Esthétique – Économie – Finance*Président : Marcel AUSLOOS (Université de Liège)**Vice-Président : Jacques LEVY-VEHEL (INRIA)***9h 00 La perspective du paysage urbain comme révélateur d'une esthétique fractale***Gilles CHAMBON (Ecole d'Architecture et de Paysage de Bordeaux)***9 h 20 Discussion****9 h 30 L'art et l'image fractale ; l'expérience d'un peintre***Emmanuel CAYLA (Artiste peintre)***9 h 50 Discussion****10 h 00 Apport de la percolation à la théorie économique***Stéphane PAJOT (UFR de Sc. Economiques, Université de Nantes)***10 h 20 Discussion****10 h 30 *Pause Café*****10 h 50 La recherche de lois d'échelle dans les variations boursières***Christian WALTER (PricewaterhouseCoopers & Institut d'Etudes Politiques de Paris)***11h 00 Discussion****11 h 30 Modélisation des fluctuations boursières avec les processus de Lévy***Rama CONT (CNRS, Ecole Polytechnique – Palaiseau)***11 h 50 Discussion****12 h 00 Débat : Place des Fractales dans les mathématiques financières***J. LEVY-VEHEL, M. AUSLOOS, R. CONT, B. MANDELBROT, C. WALTER***12 h 30 Fin de la session**

4^{ème} SESSION 14 h 00 – 18 h 00 (Samedi – Après-Midi 13 novembre)
Bio-médecine – Murs anti-bruits – Aspects mathématiques

Président : Etienne GUYON (Ecole Sup. de Physique et Chimie Industrielles de la ville de Paris)

Vice-Président : Gabriele LOSA (Univ. de Lausanne CH & Univ. de Messine Italie)

14 h 00 Modèles de croissance fractale : épidémies, évolutions en biologie, écologie, trafic, économie

Marcel Ausloos (Université de Liège)

14h 20 Discussion

14 h 30 Efficacité physiologique des arbres fractals : cas du poumon humain

Marcel FILOCHE (CNRS, Ecole Polytechnique – Palaiseau)

14 h 50 Discussion

15 h 00 La Géométrie fractale dans la compréhension de la complexité biologique

Gabriele A. LOSA (Univ. de Lausanne, CH et Univ. Messine, Italie)

15 h 20 Discussion

15 h 30 *Débat : Applications des Fractales en médecine et en Biologie*

B. SAPOVAL, M. AUSLOOS, A. ARNEODO, M. FILOCHE, G. LOSA, B. MANDELBROT,

16 h 00 *Pause Cafe*

16 h 30 Résonateurs fractals et murs anti-bruits

Bernard SAPOVAL (CNRS, Ecole Polytechnique – Palaiseau)

16 h 50 Discussion

17 h 00 QUELQUES ASPECTS MATHÉMATIQUES DE L'OEUVRE DE B. MANDELBROT

Jean-Pierre KAHANE (Membre de l'Académie des Sciences - Section Mathématiques)

17 h 20 Discussion

17 h 30 *Conclusions du Colloque*

Benôit MANDELBROT

Remerciements :

M. Gilbert BELAUBRE (Président de l'Académie Interdisciplinaire des sciences)

18h 00 Fin du Colloque

L'INVENTION DES FRACTALES ET L'ŒUVRE TRANSDISCIPLINAIRE DE BENOÎT MANDELBROT

Par Gilbert BELAUBRE

Président de l'AEIS

Les géométrisations fractales sont une science toute récente, dont les premiers pas datent du début des années 1970. Elle est largement l'œuvre d'un seul homme, Benoît Mandelbrot, mathématicien français, qui a conçu le cadre mathématique et a ouvert les voies d'application.

Dix ans après leur apparition, les géométries fractales faisaient l'objet de cours magistraux dans les grandes écoles et de nombreuses universités. Aujourd'hui, les fractales sont enseignées au lycée.

Géométrie de la nature, science de la rugosité, des interpénétrations, des agrégats, de la turbulence, la géométrie fractale ne se limite pas à la seule description des objets irréguliers naturels, et même artificiels, mais elle s'applique également à l'étude des processus accidentés comme le cours des matières premières, la rupture des matériaux, les fractures telluriques ou les anomalies des électrocardiogrammes, phénomènes qui semblaient « monstrueux » pour l'approche classique.

Grâce à une compréhension combinée de la physiologie et de l'anatomie, toutes les deux en partie fractales, grâce à la richesse conceptuelle des systèmes dynamiques complexes, l'embryogenèse, la Biologie, les régulations, la physiopathologie, bénéficient désormais de nouveaux éclairages.

Le principe de ces travaux réside dans la découverte, dans des domaines très variés, d'« autosimilarités », c'est à dire de structures similaires à différentes échelles. Il s'agit, le plus souvent, de phénomènes complexes, où interagissent un très grand nombre d'unités élémentaires

C'est le génie de Mandelbrot et l'arrivée d'ordinateurs puissants qui ont donné les bases mathématiques et ont permis d'effectuer les calculs.

Les images fractales sont d'une richesse et d'une beauté nouvelles, et elles modifient notre esthétique. Architectes et urbanistes savaient qu'à elles seules, droites et courbes algébriques ne recelaient pas tous les canons de l'esthétique. La nouvelle géométrie de la dissymétrie et des ruptures leur donne raison et légalise leurs audaces.

À point nommé, les Fractales arrivent au secours de la lutte anti-bruit et apportent des solutions en acoustique..

De par le monde, un million de sites électroniques sont consacrés à l'Art fractal, aux « Galeries », aux arabesques échevelées et multicolores, également à la musique fractale.

Avec les Fractales, Benoît Mandelbrot nous a donné une nouvelle vision du monde dans son inextricable complication. Cette explosion scientifique est jalonnée par ses ouvrages majeurs :

1975 : Les objets fractals, forme, hasard et dimension. (Paris, Flammarion)

1982 : The Fractal Geometry of Nature (New York, Freeman)

1997 : Fractales, hasard et finances (Paris, Flammarion).

2004 : Fractals and Chaos (New York ; Springer).

2004 : (Mis)Behaviour of Markets (New York, Basic Books, et Londres, Profile Books). Ce dernier ouvrage a reçu le 5 Octobre à Francfort / Main le prix 2004 du Financial Times Deutschland (FTD) et de getAbstract : (Wirtschaftsbuchpreis 2004). Edition française en cours.

A 80 ans, Benoît Mandelbrot reste un aventurier infatigable de la science.

ANALYSE FRACTALE DE LA DISTRIBUTION DE VENTILATION DANS LE POUMON HUMAIN

Hiriko KITAOKA

Dept. of Infonnation Pharmacology, Graduate Sphool of Medicine, Osaka University,
Yamadaoka 2-2, Suita City, Osaka 565-0871, Japan
Tel: +81-6-6879-3512 Fax: +81-6-6879-3519
Email: kitaoka@phanna2.med.osaka-u.ac.jp

La distribution de la ventilation est un élément crucial pour l'efficacité des échanges gazeux. Les anomalies structurelles régionales altèrent la distribution de ventilation même si aucune anomalie n'a été détectée par les tests fonctionnels conventionnels. Cependant, notre connaissance concernant la distribution spatiale de l'air ventilé n'est pas satisfaisante jusqu'à présent à cause des difficultés techniques d'imagerie de la ventilation. Dans cet article, une étude de modélisation et une nouvelle technique d'imagerie de ventilation sont présentées et le caractère fractal de la distribution de ventilation est discuté.

Un modèle 4D du poumon humain a été construit en combinant un modèle de voies aériennes 3D jusqu'aux bronchioles terminales(1) et un modèle de déformation pulmonaire(2), comme illustré dans les figures 1. La vitesse d'écoulement pour chaque acinus est calculée en supposant que tous les flux sont laminaires et réguliers en phase de respiration tidale et que la distribution des flux à chaque bifurcation est déterminée par la géométrie de l'arbre des voies aériennes. De plus, l'état asthmatique est simulé en changeant les diamètres des segments des voies aériennes. Le ratio de ventilation (=volume d'air ventilé par unité de volume de parenchyme pulmonaire dans la phase d'expiration) est calculé pour chaque acinus et visualisé en une image 3D comme on le montre dans la figure 2.

L'analyse fractale de l'hétérogénéité spatiale a été réalisée grâce à une méthode statistique proposée par Glenny et al. (3), qui ont analysé la distribution spatiale du flux sanguin pulmonaire dans les poumons de chiens. Ils ont observé le coefficient de variance ($COV = \text{sd}/\text{moyenne}$) en tant que fonction de puissance du volume de l'échantillon, et défini la dimension fractale, D_s , comme $1-m$, où m est la valeur de la puissance. Les valeurs mesurées de D_s dans le poumon virtuel de la figure 1 ont été 1,08 et 1,09 pour des états respectivement normaux et asthmatiques. Ces valeurs sont semblables à celles rapportées par Glenny(3) et Venegas(4) pour le flux pulmonaire sanguin. Lorsqu'on a assigné une distribution de ventilation complètement homogène, D_s n'était pas égal à 1 mais à 1,04 à cause de la présence de tissus non respiratoires tels que les vaisseaux bronchiques et pulmonaires(5). Lorsqu'on assigne un caractère aléatoire au ratio de ventilation, D_s valait 1,47. L'étude du modèle suggère que l'hétérogénéité spatiale de la ventilation et du flux sanguin pulmonaire provient de la propriété fractale des voies aériennes et des arbres vasculaires. Cela suggère aussi que l'analyse fractale pourrait être d'une certaine utilité pour connaître la cause de l'hétérogénéité de ventilation, dans les voies aériennes et le parenchyme.

La distribution ventilatoire dans le poumon réel a été mesurée par une nouvelle méthode utilisant une technique d'enregistrement d'image entre les ensembles de données 3D-CT à l'inspiration et à l'expiration; La divergence dans l'obtention du champ de vecteur de déplacement est considérée comme le volume d'air ventilé par unité de volume de parenchyme pulmonaire. La figure 3 montre des images de ventilation d'un volontaire normal en phase de respiration tidale dans en position couchée ou inclinée. La dépendance de la pesanteur pour la distribution de ventilation se reconnaît facilement. Un graphique Log-Log de COV pour ces données n'a montré aucune corrélation linéaire. Ceci peut être partiellement imputable à des erreurs de calcul des champ de vecteurs de déplacement. Puisque cette méthode nous permet d'évaluer directement la corrélation entre la structure et la ventilation, l'incidence pratique de l'analyse fractale pourrait être faible.

Références :

1. Kitaoka H, Takaki R, & Suki, B. A three-dimensional model of the human airway tree. *J. Appl Physiol* 87: 2207-2217,1999.
2. Kitaoka H & Kurachi Y. Nitrogen washout simulation by the use of a four dimensional lung model (submitted).
3. Glenny RB & Robertson T. Fractal properties of pulmonary blood flow: characterization of spatial heterogeneity. *J. Appl Physiol* 69: 532-545,1990.
4. Venegas JG and Galletti GG. Low-pass filtering, a new method of fractal analysis: application to PET images of pulmonary blood flow. *J. Appl Physiol* 88: 1365-1373,2000.
5. Kitaoka H. & Itoh H. Spatial distribution of the peripheral airways - application of fractal geometry. *Forma* 6:181-191,1991.