

BULLETIN N° 109
ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 14 novembre 2006

Conférences de nos Collègues :

Pr. Jacques LEVY : « *Histoire de la pensée humaine* ».

Pr. Alain CARDON et Dr Pierre MARCHAIS:

« *De l'émergence des organisations psychiques* »

Prochaine séance : le Mardi 12 décembre 2006

« *Réflexions croisées sur l'émergence* »

**par nos Collègues Gilbert BELAUBRE, Alain STAHL
et Michel GONDRAN**

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

PRESIDENT : Michel GONDRAN

SECRETARE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN

TRESORIER GENERAL : Bruno BLONDEL

CONSEILERS SCIENTIFIQUES :

SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDJI.

SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNOLOGIES : Pr. François BEGON

PRESIDENT DE LA SECTION DE NICE : Doyen René DARS

PRESIDENT DE LA SECTION DE NANCY : Pierre NABET

PRESIDENT FONDATEUR

DOCTEUR Lucien LEVY (†).

PRESIDENT D'HONNEUR

Gilbert BELAUBRE

SECRETARE GENERAL D'HONNEUR

Pr. P. LIACOPOULOS

Novembre 2006

N°109

TABLE DES MATIERES

- P. 3 Compte-rendu de la séance du 14 novembre 2006 :
- P. 5 Compte –Rendus de la Section Nice-Côte d'Azur
- P. 12 Documents

Prochaine séance : Mardi 12 décembre 2006,
 MSH, salle 215-18heures

« Réflexions croisées sur l'émergence » par nos collègues
Gilbert BELAUBRE, Alain STAHL
et Michel GONDRAN

Siège Social : Maison des Sciences de l'Homme 54, bd Raspail 75006 Paris
 NOUVEAU Site Web: <http://www.science-inter.com>

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

Séance du
Mardi 14 novembre 2006

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

La séance est ouverte à 18 h. 00 sous la Présidence de Michel GONDRAN et en la présence de nos collègues Gilbert BELAUBRE, Michel BERREBY, Bruno BLONDEL, Alain CARDON, Françoise DUTHEIL, Manuel GALAN, Irène HERPE-LITWIN, Jacques LEVY, Emmanuel NUNEZ, Pierre MARCHAIS, Jean POIRIER

Etaient excusés : François BEGON, Noëlle CAGNARD, Jean-Pierre FRANCOISE, Marie-Louise LABAT, Gérard LEVY, Victor MASTRANGELO, Pierre SIMON, Alain STAHL.

Etait venu en visiteur : Willy FOURNIER ancien d'AREVA

I) Informations générales

Notre Président, Michel GONDRAN, nous fait part de la candidature de Valérie LEFEVRE-SEGUIN.

Née en 1953, directrice de recherche au CNRS, spécialiste de mécanique quantique, auteur de plus de trente publications dans des revues internationales, elle est responsable dès l'origine de l'équipe « Microsphères » au sein du groupe de Serge Haroche du laboratoire Kastel Brossel de l'ENS. Elle travaille actuellement en nanophotonique, avec des nanocristaux semi-conducteurs couplés à des microsphères ou des microtores intégrés sur silicium ; microlasers à bas seuil, outil pour l'étude de molécules biologiques.

Parallèlement, elle a été coordinatrice scientifique à la Direction de la recherche au ministère en charge de la recherche pour les secteurs Math-STIC-Physique-Chimie-SPI, puis responsable de programmes à l'Agence Nationale de la Recherche, en particulier pour le « Programme National en Nano sciences et Nanotechnologies » ; actuellement elle est conseillère scientifique au service de la recherche universitaire de la DGES au ministère délégué à l'enseignement supérieur et à la recherche.

Enfin, Valérie LEFEVRE-SEGUIN nous a apporté une grande aide pour l'organisation du congrès « Physique et Conscience ».

La candidature de Valérie LEFEVRE-SEGUIN, soumise à un vote à bulletin secret, a été acceptée à l'unanimité des participants.

II) Conférence de notre Collègue le Pr Jacques LEVY:
 « Histoire de la pensée humaine »

Le premier point à l'ordre du jour appelait la présentation par notre nouveau Collègue , Jacques LEVY d'une « *Histoire de la pensée humaine* ». Jacques LEVY, qui a été Professeur agrégé de Physiologie à la faculté de médecine a évolué vers la psychiatrie. Il s'est donc particulièrement intéressé à la naissance de la pensée, à son ontogenèse puis à sa phylogenèse. Il aborde ainsi le rôle de la verbalisation, des mythes et rêves, la finalité de ces derniers et l'intrication entre subjectivité, objectivité au niveau de l'inconscient. Il met en exergue le rôle du désir et de l'inconscient qui ont d'abord poussé l'homme à inventer des religions allant de l'animisme jusqu'au théisme. La conscience et la faculté d'abstraction liée à l'acquisition du langage aurait permis ensuite d'évoluer du subjectif absolu jusqu'à des points de vue moins subjectifs. Il analyse, ce faisant, les divers paliers passant successivement par le symbolisme, le mysticisme. La notion d'objectivité exigerait que l'on fasse abstraction de visions métaphysiques et notamment la connaissance vraie serait indépendante de considérations éthiques.

Après cet exposé, quelques questions sont posées relatives au rôle de l'inconscient, du désir et de la substance, conduisant notre conférencier à préciser que l'inconscient est ce qui est pensé sans être explicité par le langage . D'autres questions émergent concernant la pensée symbolique, le rôle du désir , la mémoire de l'évolution de l'humanité présente en chacun, les interactions entre individus, et la relation entre langage et faculté d'abstraction.

III) Conférence de nos Collègues Alain CARDON et Pierre MARCHAIS: «De l'émergence des organisations psychiques »

Le second point à l'ordre du jour appelle ensuite la conférence de nos Collègues Alain CARDON et Pierre MARCHAIS intitulée «*De l'émergence des organisations psychiques* ». Notre Collègue Alain CARDON nous expose les outils informatiques et la problématique de **modélisation** des architectures de réseaux neuronaux formels très complexes. Le cerveau est modélisé comme un ensemble de réseaux neuronaux, composé de couches, d'agrégats de neurones doté d'une combinatoire extrêmement complexe : couches bouclées les unes sur les autres, interactions entre les divers agrégats, mémorisation, apprentissage forcé par algorithme... Il nous expose également le logiciel qui mimerait ce comportement.

Son très riche exposé nous renvoie à sa théorie sur la co-activation régissant le comportement des systèmes complexes adaptatifs (voir article du bulletin n°108 p.23 : « ***De la fonctionnalité à la co-activation dans un système organisationnellement complexe ; la conscience artificielle*** » et p.31 « ***positionnement du système basé multiagent*** »).

Un vaste questionnement a fait suite à cet exposé. Notamment, notre Collègue Pierre MARCHAIS nous explique que ces modèles ont une valeur prédictive en psychiatrie conduisant à un affinement très sérieux du diagnostic. Des problèmes éthiques liés à la construction de tels modèles se posent également étant donné l'intérêt accordé à ces projets par l'armée et la peur d'un éventuel « big brother » capable d'investiguer nos cerveaux.

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

Bien amicalement à vous.

Irène HERPE-LITWIN.

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

Le savoir est le seul bien qui s'accroisse
à la partager. Comprendre est bien sans
limite qui apporte une joie parfaite.
Baruch SPINOZA (1632-1677)

Compte-rendu de la séance du 21 septembre 2006 (97^{ème} séance)

Présents :

Jean Aubouin, Sonia Chakhoff, Pierre Couillet, Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Pierre Delmont, Jean-Paul Goux, Jacques Lebraty, Daniel Nahon, Maurice Papo, Jacques Wolgensinger.

Excusés :

René Blanchet, Alain Bernard, Emile Girard, Yves Ignazi, Michel Lazdunski.

1- Approbation du compte-rendu de la 96^{ème} séance.

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

2- Le mois écoulé.

Après l'interruption du mois d'août, notre Académie reprend ses activités mensuelles.

Les cellules souches. Deux informations récentes sur un sujet controversé :

- Accord du Vatican de permettre les travaux sur les cellules souches d'un individu (cordon ombilical, sang, etc.) mais pas sur les cellules embryonnaires.
- Les travaux récents sur des souris dépressives de l'équipe de notre confrère Lazdunski : il est possible de modifier un gène qui agit sur une protéine responsable de la dépression.

Ces travaux font suite à d'autres destinés à développer le clonage thérapeutique. Le clonage reproductif demeure interdit. Ils ont pour but de soigner, s'ils réussissent, un individu dans son phénotype, mais pas dans son génotype qui demeure inchangé. Un motif d'inquiétude est que les individus guéris vont survivre et pourront donc avoir une descendance qui portera le gène défectueux, le plus souvent récessif heureusement.

On a imaginé, il y a quelques années, que l'homme pourrait bientôt manipuler le génome sans difficulté. Les premiers travaux, comme ceux de Fischer sur les enfants-bulles, ont montré que cela n'était pas aussi facile qu'on le pensait. Il semblerait cependant que l'on s'achemine actuellement vers la guérison du diabète infantile (chez la souris) en diversifiant à partir de cellules souches des îlots de Langherans qui se refixent dans le foie et produisent de l'insuline. S'il s'agit de cellules provenant d'individus différents de celui qui est guéri, il y aura nécessité de subir un traitement anti-rejet à vie, ce qui est une médication très lourde. S'il s'agit, par contre, de cellules souches de l'individu à soigner, il n'y a, évidemment, pas de risque de rejet.

Actuellement, il n'y a encore rien d'absolument positif chez l'homme et il y a quelques accidents.

La privatisation de Gaz de France. Notre confrère Lebraty fait remarquer que les médias et les politiques ont tendance à confondre la privatisation de GDF avec sa fusion éventuelle avec Suez. Or, le premier point est le seul à dépendre du Parlement. L'association de GDF avec un autre ou plusieurs autres industriels privés est une affaire qui ne le concerne pas, sauf à mettre en avant le patriotisme économique.

Il y a des échéances européennes qui s'imposeront très bientôt. La France les a approuvées mais elle semble les oublier, notamment la libre concurrence dans la distribution du gaz.

3- Entreprises et mondialisation.

Le cycle de conférences aura lieu durant le dernier trimestre 2006. De nombreuses invitations ont été distribuées, notamment auprès des clubs Rotary et Lions qui comptent de nombreux entrepreneurs parmi leurs membres et les étudiants.

Les deux premières conférences ont lieu les 26 et 28 septembre prochains. La troisième aura lieu le mardi 17 octobre au CUM à 18 heures : Robert Leduff : « L'Etat entrepreneur ».

4- 7^{ème} colloque (2006) : « Les climats de la Terre au cours des temps ».

Ce colloque comportera d'abord une conférence de notre Président René Dars : « *Dernières nouvelles du réchauffement de la planète* » le mardi 31 octobre 2006 au CUM à 16 heures, puis un colloque d'un après-midi, le vendredi 1^{er} décembre 2006 à partir de 13 heures 45 :

- Vincent Courtillot : « *Y a-t-il une relation entre le champ magnétique et le climat ?* »
- Nicole Petit-Maire : « *Les grands changements climatiques : les leçons du passé* »,
- Hervé Le Treut : « *Scénarios climatiques futurs : l'apport des modèles et leurs limites* »,
- Claude Allègre : « *L'escroquerie intellectuelle du 21^{ème} siècle* »,
- Discussion.

5- Colloque sur la modélisation et la simulation prévu en 2007.

Placé sous la tutelle de Pierre Couillet et Maurice Papo.

Titres au choix :

- Comprendre les modèles et la simulation

- Comprendre les modèles, la simulation et les domaines d'application
- Ces modèles qui expliquent la nature.

Pour Pierre Coulet il existe, sur place, notamment au laboratoire Dieudonné, tous les intervenants que l'on peut souhaiter. Il faut seulement discuter de la durée du colloque (un ou deux jours) et de la date.

6- Création de l'Association des Amis de la Fondation Sophia Antipolis.

Notre Académie s'est régulièrement rapprochée, ces dernières années, de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, en particulier grâce à notre confrère Pierre Coulet devenu conseiller du Président de l'Université, le professeur Albert Marouani. C'est ainsi qu'a vu le jour l'Institut Robert Hooke dont le siège est à l'Université.

Mais nous avons aussi développé des liens avec la Fondation Sophia Antipolis, la plus importante technopole de France.

Une fondation, c'est nécessairement une grande organisation (ex. Fondation de France). La Fondation Sophia Antipolis est dans ce cadre. C'est un outil assez exceptionnel qu'il faut utiliser au mieux au plan local ou national.

Le Gouvernement a créé récemment les *fondations abritées* et les *fondations abritantes*.

Les fondations abritées sont destinées à fournir des avantages fiscaux et à aider à la relation recherche publique – recherche privée.

En 2005, cette notion de fondation abritée a encore évolué de manière à pouvoir comprendre des projets, des pôles de recherche, des réseaux technologiques de recherches avancées.

Une fondation abritante héberge des fondations abritées et reçoit un pourcentage en frais de gestion de tous les contrats qu'elles ont signés.

La Fondation Sophia Antipolis est une fondation abritante. Par ses statuts, elle n'a pas de conseil scientifique. D'où l'idée de faire évoluer l'Association Sophia Antipolis vers une Association des Amis de la Fondation Sophia Antipolis. Il est proposé de créer en son sein un outil destiné à affirmer sa crédibilité scientifique et technologique dans les projets qu'elle accueille.

Les proposants à des projets abrités ont très bien compris qu'ils ont intérêt à avoir une caution scientifique. Elle leur serait donnée par l'Association des Amis de la Fondation Sophia Antipolis.

Les fondations sont désormais dans un système concurrentiel. C'est ainsi qu'une fondation abritée, issue de Sophia Antipolis, proposée par des biologistes sur le génome, a été finalement accueillie par la Fondation de France. La Fondation Sophia Antipolis a donc tout intérêt à avoir une Association des Amis qui lui apporte une caution scientifique dans ses choix, mais aussi pour ses relations recherche – entreprises, les pôles de compétitivité.

Le président de l'Association des Amis de la Fondation Sophia Antipolis doit évidemment être le même que celui de la Fondation pour de multiples raisons d'unité d'image et d'action.

Au cours de la réunion du lundi 25 au siège de la Fondation Sophia Antipolis, le conseil d'administration de l'Association des Amis de la Fondation Sophia Antipolis a été élu. Il comporte quatorze membres comme prévu par les statuts. Parmi eux, cinq sont membres de l'AEIS Nice-Côte d'Azur : Jean Aubouin, René Blanchet, Patrice Crossa-Raynaud, René Dars, Maurice Papo.

La résolution suivante sera proposée à la première réunion du conseil d'administration qui vient d'être élu :

Constitution au sein de l'Association des Amis de la Fondation Sophia Antipolis d'un Comité Scientifique Stratégique rattaché au bureau de l'association. L'objet de ce comité est en particulier, d'être à la disposition de la Fondation Sophia Antipolis pour toute mission qu'elle voudra lui confier, principalement dans les domaines de conseil, évaluation, audit, rapport final des programmes, projets ou fondations abrités par la Fondation. Il sera également à la disposition de la Fondation pour la recherche éventuelle de contacts scientifiques, universitaires ou industriels en tant que de besoin dans ce même cadre de programmes, projets ou fondations abrités par la Fondation.

Ce comité sera constitué par l'Académie Européenne Interdisciplinaires des Sciences de la Côte d'Azur (AEIS), membre moral de l'Association. Il pourra ponctuellement pour une mission donnée, s'adjoindre d'autres membres de l'association des Amis de la Fondation.

Ce Comité est rattaché et rend compte au bureau de l'Association.

Compte-rendu de la séance du 19 octobre 2006
(98^{ème} séance)

Présents :

René Blanchet, Sonia Chakhoff, Pierre Coulet, Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Paul Goux, Jacques Lebraty, Maurice Papo, Jacques Wolgensinger.

Excusés :

Jean Aubouin, Jean-Pierre Delmont, Michel Lazdunski, Daniel Nahon.

1- Approbation du compte-rendu de la 97^{ème} séance.

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

2- Le mois écoulé.

➤ René Blanchet, interrogé sur l'application de la directive ministérielle imposant l'usage de la méthode syllabique pour l'apprentissage de la lecture, rappelle qu'autant les programmes s'imposent aux enseignants, autant on doit respecter la liberté du maître dans sa classe, celui-ci étant en fin de compte jugé sur ses résultats par les inspecteurs.

On remarquera simplement qu'à l'inverse du passé, les maîtres employant la méthode syllabique ne seront plus sanctionnés.

➤ Sonia Chakhoff nous a représentés à l'assemblée générale de l'AEIS. Il a été annoncé la création d'une nouvelle section à Nancy, comportant déjà seize membres.

➤ René Blanchet nous signale l'existence de la fondation Georges Besse, créée en souvenir de ce grand industriel par Madame Georges Besse et des PDG notamment d'entreprises où il a travaillé : Areva, Renault, Pechiney, Charbonnages de France. Cette fondation abritée a l'objectif très ciblé d'aider financièrement des jeunes étudiants. Dans le respect du parcours de Georges Besse qui était d'origine très modeste, cette fondation aide des jeunes en grande difficulté financière pour les classes préparatoires. Actuellement, elle aide 24 jeunes futurs ingénieurs sans parents.

Actuellement, René Blanchet parraine un jeune qui bénéficie depuis l'an dernier d'une bourse de la fondation Georges Besse. Il est chargé de famille puisqu'il doit s'occuper de son petit frère, très brillant lui aussi, qui est en classe terminale.

René Blanchet fait remarquer que les élèves préparant les concours sont presque complètement coupés de la Recherche active universitaire. Alors, pour ceux qui n'intègrent pas les écoles d'ingénieurs, il y a un réel problème de réinsertion à l'Université.

Il regrette donc que les élèves des classes préparatoires soient complètement coupés de l'activité universitaire. C'est d'autant plus vrai pour les classes littéraires où le nombre de réussites est encore plus limité.

Il est évident que, dans les programmes des classes préparatoires, la préparation aux concours implique beaucoup de travail de la part des élèves mais nombre de professeurs ont une attitude très négative vis-à-vis de tout ce qui n'est pas leur classe et ses programmes. Ils sont souvent très agressifs vis-à-vis de leurs jeunes élèves. Mais, d'autre part, il y a une exigence forte de la part des élèves pour que leurs professeurs ne s'écartent pas du programme du concours.

Pour le Président, ce problème mériterait qu'on en reparle plus longuement.

➤ Pierre Coulet : Les fêtes de la Science qui se sont tenues à Valrose ont eu un très grand succès bien que d'autres journées aient été organisées à Sophia Antipolis. De très nombreux collégiens sont venus avec leurs parents.

Grâce à ces journées, les collégiens ont découvert le parc Valrose.

Un des sujets était le micro-informatique depuis le début jusqu'au supercalculateurs.

Pierre Coulet voudrait créer un diplôme pour les enseignants des collèges comportant une initiation à l'expérimentation : enseigner les sciences, pédagogie des sciences, Science et société, mathématiques, physique, chimie, sans aucun niveau exigé. Il serait destiné à donner une culture générale à tous, même à des retraités, par des gens ayant un peu de recul. Exemple : comment faire une expérimentation de « la main à la pâte » de Charpak.

3- Le cycle Entreprises et mondialisation.

On a déjà eu trois conférences qui se sont bien passées et dont nous avons les manuscrits. Nous pourrions donc bientôt éditer ce cycle.

4- Les climats de la Terre au cours des temps.

Le 7^{ème} colloque de notre Académie aura lieu le vendredi 1^{er} décembre au CUM à partir de 13 heures 45. Le sujet peut se résumer ainsi :

Nous sommes assaillis par tous les médias qui prédisent un réchauffement inéluctable et catastrophique de la Terre et en attribuent la cause au comportement humain. Un film réalisé par l'ancien candidat à la Maison Blanche prédit même la fin de la civilisation.

Ce colloque aura été précédé, le mardi 31 octobre, d'une conférence introductive du Président René Dars au CUM à 16 heures : « *Dernières nouvelles du réchauffement de la Planète* ».

5- Colloque « Modélisation et la simulation ».

Pierre Coulet envisage des réunions scientifiques de très haut niveau à St Etienne de Tinée, dans le cadre des Journées d'Eté de 2007 (Aspen-Mercantour) car la modélisation s'adresse désormais à une multitude de sujets très divers comme la cicatrisation des tissus, les jeux vidéos, le climat, etc. Il faut donc, dans ce colloque au Cum, se limiter à un certain nombre de sujets divers et trouver les spécialistes capables de les exposer à un public de non avertis. Cela pourrait constituer plutôt qu'une journée, un cycle de conférences, comme nous l'avons fait pour l'Economie ce qui est apprécié par les responsables du CUM.

6- Association des Amis de la Fondation Sophia Antipolis.

Au cours de la première réunion de l'association des Amis de la Fondation Sophia Antipolis, les quatorze membres du conseil d'administration de cette association ont été élus. Cinq membres de notre Académie en font partie : Aubouin, Blanchet, Couillet, Crossa-Raynaud, Dars.

Au cours de la prochaine réunion du conseil d'administration, il conviendrait de faire approuver la résolution instituant l'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences Nice-Côte d'Azur, personne morale, comme conseil scientifique stratégique de la Fondation Sophia Antipolis chargé notamment de se prononcer sur l'accueil de fondations abritées.

Lundi 6 novembre 2006 à 16 heures
 au CUM
 « *L'île de Pâques : une culture en vase clos* »
 par le professeur Guy Darcourt

Cycle « *Entreprise et mondialisation* »
 Vendredi 10 novembre 2006 à 18 heures
 au CUM
 « *L'entrepreneur et le monde moderne* »
 par le professeur Jacques Lebraty

Cycle « *Entreprise et mondialisation* »
 Jeudi 16 novembre 2006 à 18 heures
 au CUM
 « *Pouvoir et télévision* »
 par Jean-Marie Cotteret

Documents

En vue de notre démarche de réflexions croisées sur l'émergence nous vous proposons quelques textes .

Le premier texte, dû au mathématicien Henri POINCARÉ, analyse la genèse consciente et inconsciente des idées , notamment dans le domaine des mathématiques :

P .13 : « *L'INVENTION MATHÉMATIQUE* » *Chapitre III du livre « SCIENCE ET METHODES (1908) »* du Mathématicien Henri POINCARÉ

Le second texte est une réflexion de notre Collègue Alain STAHL sur la relation entre complexité, réduction et émergence tiré de son ouvrage « *Science et Philosophie* » (PUF 2004)

P . 21 : « *EMERGENCE ET REDUCTION* » p.61à63 du livre d'Alain STAHL

P .23: Un texte de Jean Paul BAQUIAST : « Emergence en science »

P.26 : « Karl Popper : Une épistémologie de l'émergence » par Frédéric Fabre

L'INVENTION MATHÉMATIQUE
CHAPITRE III du LIVRE « SCIENCE ET METHODES (1908) »
 du Mathématicien Henri POINCARÉ

La genèse de l'Invention mathématique est un problème qui doit inspirer le plus vif intérêt au psychologue. C'est l'acte dans lequel l'esprit humain semble le moins emprunter au monde extérieur, où il n'agit ou ne paraît agir que par lui-même et sur lui-même, de sorte qu'en étudiant le processus de la pensée géométrique, c'est ce qu'il y a de plus essentiel dans l'esprit humain que nous pouvons espérer atteindre.

On l'a compris depuis longtemps, et il y a quelques mois une revue intitulée *l'Enseignement Mathématique* et dirigée par MM. Laisant et Fehr, a entrepris une enquête sur les habitudes d'esprit et les méthodes de travail des différents mathématiciens. J'avais arrêté les principaux traits de cet article quand les résultats de cette enquête ont été publiés ; je n'ai donc guère pu les utiliser, je me bornerai à dire que la majorité des témoignages confirment mes conclusions, je ne dis pas l'unanimité, car quand on consulte le suffrage universel, on ne peut se flatter de réunir l'unanimité.

Un premier fait doit nous étonner, ou plutôt devrait nous étonner, si nous n'y étions si habitués. Comment se fait-il qu'il y ait des gens qui ne comprennent pas les mathématiques ? Si les mathématiques n'invoquent que les règles de la logique, celles qui sont acceptées par tous les esprits bien faits ; si leur évidence est fondée sur des principes qui sont communs à tous les hommes et que nul ne saurait nier sans être fou, comment se fait-il qu'il y ait tant de personnes qui y soient totalement réfractaires ?

Que tout le monde ne soit pas capable d'invention, cela n'a rien de mystérieux. Que tout le monde ne puisse retenir une démonstration qu'il a apprise autrefois, passe encore. Mais que tout le monde ne puisse pas comprendre un raisonnement mathématique au moment où on le lui expose, voilà qui paraît bien surprenant quand on y réfléchit. Et pourtant ceux qui ne peuvent suivre ce raisonnement qu'avec peine sont en majorité : cela est incontestable et l'expérience des maîtres de l'enseignement secondaire ne me contredira certes pas.

Et il y a plus : comment l'erreur est-elle possible en mathématiques ? Une intelligence saine ne doit pas connaître de faute de logique, et cependant il y a des esprits très fins, qui ne broncheront pas dans un raisonnement court tel que ceux que l'on a à faire dans les actes ordinaires de la vie, et qui sont incapables de suivre ou de répéter sans erreur les démonstrations des mathématiques qui sont plus longues, mais qui ne sont après tout qu'une accumulation de petits raisonnements tout à fait analogues à ceux qu'ils font facilement. Est-il nécessaire d'ajouter que les mathématiciens eux-mêmes ne sont pas infaillibles ?

La réponse me semble s'imposer. Imaginons une longue série de syllogismes, et que les conclusions des premiers servent de prémisses aux suivants : nous serons capables de saisir chacun de ces syllogismes, et ce n'est pas dans le passage des prémisses à la conclusion que nous risquons de nous tromper. Mais entre le moment où nous rencontrons pour la première fois une proposition, comme conclusion d'un syllogisme, et celui où nous la trouvons comme prémisses d'un autre syllogisme, il se sera parfois écoulé beaucoup de temps, on aura déroulé de nombreux anneaux de la chaîne ; il peut arriver qu'on l'ait oubliée ; ou, ce qui est plus grave, qu'on en ait oublié le sens. Il peut donc se faire qu'on la remplace par une proposition un peu différente, ou que, tout en conservant le même énoncé, on lui attribue un sens un peu différent, et c'est ainsi qu'on est exposé à l'erreur.

Souvent le mathématicien doit se servir d'une règle : il a commencé par démontrer cette règle ; au moment où cette démonstration était toute fraîche dans son souvenir il en comprenait parfaitement le sens et la portée, et il ne risquait pas de l'altérer. Mais ensuite il l'a confiée à sa mémoire et il ne l'applique plus que d'une façon mécanique ; et alors si la mémoire lui fait défaut, il peut l'appliquer tout de travers. C'est ainsi, pour prendre un exemple simple et presque vulgaire, que nous faisons quelquefois des fautes de calcul parce que nous avons oublié notre table de multiplication.

A ce compte, l'aptitude spéciale aux mathématiques ne serait due qu'à une mémoire très sûre, ou bien à une force d'attention prodigieuse. Ce serait une qualité analogue à celle du joueur de whist, qui retient les cartes tombées ; ou bien pour nous élever d'un degré, à celle du joueur d'échecs qui peut envisager un nombre très grand de combinaisons et les garder dans sa mémoire. Tout bon mathématicien devrait être en même temps bon joueur d'échecs et inversement ; il devrait être également un bon calculateur numérique. Certes, cela arrive quelquefois, ainsi Gauss était à la fois un géomètre de génie et un calculateur très précoce et très sûr.

Mais il y a des exceptions, ou plutôt je me trompe, je ne puis pas appeler cela des exceptions, sans quoi les exceptions seraient plus nombreuses que les cas conformes à la règle. C'est Gauss au contraire qui était une exception. Quant à moi, je suis obligé de l'avouer, je suis absolument incapable de faire une addition sans faute. Je serais également un fort mauvais joueur d'échecs ; je calculerais bien qu'en jouant de telle façon je m'expose à tel danger ; je passerais en revue beaucoup d'autres coups que je rejetterais pour d'autres raisons, et je finirais par jouer le coup d'abord examiné, ayant oublié dans l'intervalle le danger que j'avais prévu.

En un mot, ma mémoire n'est pas mauvaise, mais elle serait insuffisante pour faire de moi un bon joueur d'échecs. Pourquoi donc ne me fait-elle pas défaut dans un raisonnement mathématique difficile où la plupart des joueurs d'échecs se perdraient ? C'est évidemment parce qu'elle est guidée par la marche générale du raisonnement. Une démonstration mathématique n'est pas une simple juxtaposition de syllogismes, ce sont des syllogismes *placés dans un certain ordre*, et l'ordre dans lequel ces éléments sont placés est beaucoup plus important que ne sont les éléments eux-mêmes. Si j'ai le sentiment, l'intuition pour ainsi dire de cet ordre, de façon à apercevoir d'un coup d'œil l'ensemble du raisonnement, je ne dois plus craindre d'oublier l'un des éléments, chacun d'eux viendra se placer de lui-même dans le cadre qui lui est préparé, et sans que j'aie à faire aucun effort de mémoire.

Il me semble alors, en répétant un raisonnement appris, que j'aurais pu l'inventer ; ce n'est souvent qu'une illusion ; mais, même alors, même si je ne suis pas assez fort pour créer par moi-même, je le réinvente moi-même, à mesure que je le répète.

On conçoit que ce sentiment, cette intuition de l'ordre mathématique, qui nous fait deviner des harmonies et des relations cachées, ne puisse appartenir à tout le monde. Les uns ne posséderont ni ce sentiment délicat, et difficile à définir, ni une force de mémoire et d'attention au-dessus de l'ordinaire, et alors ils seront absolument incapables de comprendre les mathématiques un peu élevées ; c'est le plus grand nombre. D'autres n'auront ce sentiment qu'à un faible degré, mais ils seront doués d'une mémoire peu commune et d'une grande capacité d'attention. Ils apprendront par cœur les détails les uns après les autres, ils pourront comprendre les mathématiques et quelquefois les appliquer, mais ils seront hors d'état de créer. Les autres enfin posséderont à un plus ou moins degré l'intuition spéciale dont je viens de parler et alors non seulement ils pourront comprendre les mathématiques, quand même leur mémoire n'aurait rien d'extraordinaire, mais ils pourront devenir créateurs et chercher à inventer avec plus ou moins de succès, suivant que cette intuition est chez eux plus ou moins développée.

Qu'est-ce, en effet, que l'invention mathématique ? Elle ne consiste pas à faire de nouvelles combinaisons avec des êtres mathématiques déjà connus. Cela n'importe qui pourrait le faire, mais les combinaisons que l'on pourrait former ainsi seraient en nombre infini, et le plus grand nombre serait absolument dépourvu d'intérêt. Inventer, cela consiste précisément à ne pas construire les combinaisons inutiles et à construire celles qui sont utiles et qui ne sont qu'une infime minorité. Inventer c'est discerner, c'est choisir.

Comment doit se faire le choix, je l'ai expliqué plus haut ; les faits mathématiques dignes d'être étudiés, ce sont ceux qui, par leur analogie avec d'autres faits, sont susceptibles de nous conduire à la connaissance d'une loi mathématique de la même façon que les faits expérimentaux nous conduisent à la connaissance d'une loi physique. Ce sont ceux qui nous révèlent des parentés insoupçonnées entre d'autres faits, connus depuis longtemps, mais qu'on croyait à tort étrangers les uns aux autres.

Parmi les combinaisons que l'on choisira, les plus fécondes seront souvent celles qui sont formées d'éléments empruntés à des domaines très éloignés ; et je ne veux pas dire qu'il suffise pour inventer de rapprocher des objets aussi disparates que possible ; la plupart des combinaisons qu'on formerait ainsi seraient complètement stériles ; mais quelques unes d'entre elles, bien rares, sont les plus fécondes de toutes.

Inventer, je l'ai dit c'est choisir ; mais le mot n'est peut-être pas tout à fait juste, il faut penser à un acheteur auquel on présente un grand nombre d'échantillons et qui les examine l'un après l'autre de façon à faire son choix. Ici les échantillons seraient tellement nombreux qu'une vie entière ne suffirait pas pour les examiner. Ce n'est pas ainsi que les choses se passent. Les combinaisons stériles ne se présenteront même pas à l'esprit de l'inventeur. Dans le champ de sa conscience n'apparaîtront jamais que les combinaisons réellement utiles, et quelques-unes qu'il rejettera, mais qui participent un peu des caractères des combinaisons utiles. Tout se passe comme si l'inventeur était un examinateur du deuxième degré qui n'aurait plus à interroger que les candidats déclarés admissibles après une première épreuve.

Mais ce que j'ai dit jusqu'ici, c'est ce qu'on peut observer ou inférer, en lisant les écrits des géomètres, à la condition de faire cette lecture avec quelque réflexion.

Il est temps de pénétrer plus avant et de voir ce qui se passe dans l'âme même du mathématicien. Pour cela, je crois que ce que j'ai de mieux à faire, c'est de rappeler des souvenirs personnels. Seulement, je vais me circonscrire et vous raconter comment j'ai écrit mon premier mémoire sur les fonctions fuchsiennes. Je vous demande pardon, je vais employer quelques expressions techniques, mais elles ne doivent pas vous effrayer, vous n'avez aucun besoin de les comprendre. Je dirai, par exemple, j'ai trouvé la démonstration de tel théorème dans telles circonstances, ce théorème aura un nom barbare, que beaucoup d'entre vous ne connaîtront pas, mais cela n'a aucune importance ; ce qui est intéressant pour le psychologue, ce n'est pas le théorème, ce sont les circonstances.

Depuis quinze jours, je m'efforçais de démontrer qu'il ne pouvait exister aucune fonction analogue à ce que j'ai appelé depuis les fonctions fuchsiennes ; j'étais alors fort ignorant ; tous les jours, je m'asseyais à ma table de travail, j'y passais une heure ou deux, j'essayais un grand nombre de combinaisons et je n'arrivais à aucun résultat. Un soir, je pris du café noir, contrairement à mon habitude, je ne pus m'endormir : les idées surgissaient en foule ; je les sentais comme se heurter, jusqu'à ce que deux d'entre elles s'accrochassent, pour ainsi dire, pour former une combinaison stable. Le matin, j'avais établi l'existence d'une classe de fonctions fuchsiennes, celles qui dérivent de la série hypergéométrique ; je n'eus plus qu'à rédiger les résultats, ce qui ne, me prit que quelques heures.

Je voulus ensuite représenter ces fonctions par le quotient de Lieux séries; cette idée fut parfaitement consciente et réfléchie; l'analogie avec les fonctions elliptiques me guidait. Je me demandai quelles devaient être les propriétés de ces séries, si elles existaient, et j'arrivai sans difficulté à former les séries que j'ai appelées thétafuchsiennes.

A ce moment, je quittai Caen, où j'habitais alors, pour prendre part à une course géologique entreprise par l'École des Mines. Les péripéties du voyage me firent oublier mes travaux mathématiques; arrivés à Coutances, nous montâmes dans un omnibus pour je ne sais quelle promenade; au moment où je mettais le pied sur le marche-pied, l'idée me vint, sans que rien dans mes pensées antérieures parût m'y avoir préparé, que les transformations dont j'avais fait usage pour définir les fonctions fuchsiennes étaient identiques à celles de la géométrie non-euclidienne. Je ne fis pas la vérification; je n'en aurais pas eu le temps, puisque, à peine assis dans l'omnibus, je repris la conversation commencée, mais j'eus tout de suite une entière certitude. De retour à Caen, je vérifiai le résultat à tête reposée pour l'acquit de ma conscience.

Je me mis alors à étudier des questions d'arithmétique sans grand résultat apparent et sans soupçonner que cela put avoir le moindre rapport avec mes recherches antérieures. Dégoûté de mon insuccès, j'allais passer quelques jours au bord de la mer, et je pensai à tout autre chose. Un jour, en me promenant sur la falaise, l'idée me vint, toujours avec les mêmes caractères de brièveté, de soudaineté et de certitude immédiate, que les transformations arithmétiques des formes quadratiques ternaires indéfinies étaient identiques à celles de la géométrie non-euclidienne.

Etant revenu à Caen, je réfléchis sur ce résultat, et j'en tirai les conséquences; l'exemple des formes quadratiques me montrait qu'il y avait des groupes fuchsiens autres que ceux qui correspondent à la série hypergéométrique; je vis que je pouvais leur appliquer la théorie des séries thétafuchsiennes et que, par conséquent, il existait des fonctions fuchsiennes autres que celles qui dérivent de la série hypergéométrique, les seules que je connusse jusqu'alors. Je me proposai naturellement de former toutes ces fonctions; j'en fis un siège systématique et j'enlevai l'un après l'autre tous les ouvrages avancés; il y en avait un cependant qui tenait encore et dont la chute devait entraîner celle du corps en place. Mais tous mes efforts ne servirent d'abord qu'à mieux me faire connaître la difficulté, ce qui était déjà quelque chose. Tout ce travail fut parfaitement conscient.

Là-dessus, je partis pour le Mont-Valérien, où je devais faire mon service militaire; j'eus donc des préoccupations très différentes. Un jour, en traversant le boulevard, la solution de la difficulté qui m'avait arrêté m'apparut tout à coup. Je ne cherchai pas à l'approfondir immédiatement, et ce fut seulement après mon service que je repris la question. J'avais tous les éléments, je n'avais donc qu'à les rassembler et à les ordonner. Je rédigeai donc mon mémoire définitif d'un trait et sans aucune peine.

Je me bornerai à cet exemple unique, il est inutile de les multiplier; en ce qui concerne mes autres recherches, j'aurais à faire des récits tout à fait analogues; et les observations rapportées par d'autres mathématiciens dans l'enquête de *l'Enseignement Mathématique* ne pourraient que les confirmer.

Ce qui frappera tout d'abord, ce sont les apparences d'illumination subite, signes manifestes d'un long travail inconscient antérieur; le rôle de ce travail inconscient dans l'invention mathématique me paraît incontestable, et on en trouverait des traces dans d'autres cas où il est moins évident. Souvent, quand on travaille une question difficile, on ne fait rien de bon la première fois qu'on se met à la besogne; ensuite on prend un repos plus ou moins long, et on s'assoit de nouveau devant sa table. Pendant la première demi-heure, on continue à ne rien trouver et puis tout à coup l'idée décisive se présente à l'esprit. On pourrait dire que le travail conscient a été plus fructueux, parce qu'il a été interrompu et que le repos a rendu à l'esprit sa force et sa fraîcheur. Mais il est plus probable que ce repos a été rempli par un travail inconscient, et que le résultat de ce travail s'est

révélé ensuite au géomètre, tout à fait comme dans les cas que j'ai cités ; seulement la révélation, au lieu de se faire jour après une promenade ou un voyage, s'est produite pendant une période de travail conscient, mais indépendamment de ce travail qui joue tout au plus un rôle de déclenchement, comme s'i était l'aiguillon qui aurait excité les résultats déjà acquis pendant le repos, mais restés inconscients, à revêtir la forme consciente.

Il y a une autre remarque à faire au sujet des conditions de ce travail inconscient : c'est qu'il n'est pas possible et en tout cas qu'il n'est fécond que s'il est d'une part précédé, et d'autre part suivi d'une période de travail conscient. Jamais (et les exemples que j'ai cités le prouvent déjà suffisamment) ces inspirations subites ne se produisent qu'après quelques jours d'efforts volontaires, qui ont paru absolument infructueux et où l'on a cru ne rien faire de bon , où il semble qu'on a fait totalement fausse route. Ces efforts n'ont pas été aussi stériles qu'on le pense, ils ont mis en branle la machine inconsciente, et, sans eux, elle n'aurait pas marché et n'aurait rien produit.

La nécessité de la seconde période de travail conscient, après l'inspiration, se comprend mieux encore. Il faut mettre en œuvre les résultats de cette inspiration, en déduire les conséquences immédiates, les ordonner, rédiger les démonstrations, mais surtout il faut les vérifier. J'ai parlé du sentiment de certitude absolue qui accompagne l'inspiration ; dans les cas cités, ce sentiment n'était pas trompeur, et le plus souvent il en est ainsi ; mais il faut se garder de croire que ce soit une règle sans exception ; souvent ce sentiment nous trompe sans pour cela être moins vif, et on ne s'en aperçoit que quand on cherche à mettre la démonstration sur pied. J'ai observé surtout le fait pour les idées qui me sont venues le matin ou le soir dans mon lit, à l'état semi-hypnagogique.

Tels sont les faits, et voici maintenant les réflexions qu'ils nous imposent. Le moi inconscient ou comme on dit, le moi subliminal, joue un rôle capital dans l'invention mathématique, cela résulte de tout ce qui précède. Mais on considère d'ordinaire le moi subliminal comme purement automatique. Or, nous avons vu que le travail mathématique n'est pas un simple travail mécanique, qu'on ne saurait le confier à une machine, quelque perfectionnée qu'on la suppose. Il ne s'agit pas seulement d'appliquer des règles, de fabriquer le plus de combinaisons possibles d'après certaines lois fixes. Les combinaisons ainsi obtenues seraient extrêmement nombreuses , inutiles et encombrantes. Le véritable travail de l'inventeur consiste à choisir entre ces combinaisons, de façon à éliminer celles qui sont inutiles ou plutôt à ne pas se donner la peine de les faire. Et les règles qui doivent guider ce choix sont extrêmement fines et délicates, il est à peu près impossible de les énoncer dans un langage précis ; elles se sentent plutôt qu'elles ne se formulent ; comment dans ces conditions, imaginer un crible capable de les appliquer mécaniquement ?

Et alors une première hypothèse se présente à nous : le moi subliminal n'est nullement inférieur au moi conscient ; il n'est pas purement automatique, il est capable de discernement, il a du tact, de la délicatesse ; il sait choisir, il sait deviner. Que dis-je, il sait mieux deviner que le moi conscient , puisqu'il réussit là où celui-ci avait échoué. En un mot, le moi subliminal n'est-il pas supérieur au moi conscient ? Vous comprenez toute l'importance de cette question. M Boutroux, dans une conférence récente, a montré comment elle s'était posée à des occasions toutes différentes et quelles conséquences entraînerait une réponse affirmative. (Voir aussi du même auteur , *Science et Religion*, pages 313sq.)

Cette réponse affirmative nous est-elle imposée par les faits que je viens d'exposer ? J'avoue que pour ma part , je ne l'accepterais pas sans répugnance. Revoyons donc les faits et cherchons s'ils ne comportent pas une autre explication.

Il est certain que les combinaisons qui se présentent à l'esprit dans une sorte d'illumination subite, après un travail inconscient un peu prolongé , sont généralement des combinaisons utiles et fécondes, qui semblent le résultat d'un premier triage. S'ensuit que le moi subliminal, ayant deviné par une intuition délicate que ces combinaisons pouvaient être utiles, n'a formé que celles-là, ou bien

en a-t-il formé beaucoup d'autres qui étaient dépourvues d'intérêt et qui sont demeurées inconscientes.

Dans cette seconde manière de voir, toutes les combinaisons se formeraient par suite de l'automatisme du moi subliminal, mais seules, celles qui seraient intéressantes pénétreraient dans le champ de la conscience. Et cela est encore très mystérieux. Quelle est la cause qui fait que, parmi les mille produits de notre activité inconsciente, il y en a qui sont appelés à franchir le seuil, tandis que d'autres restent en deçà? Est-ce un simple hasard qui leur confère ce privilège? Evidemment non; parmi toutes les excitations de nos sens, par exemple, les plus intenses seules retiendront notre attention, à moins que cette attention n'ait été attirée sur elles par d'autres causes. Plus généralement, les phénomènes inconscients privilégiés, ceux qui sont susceptibles de devenir conscients, ce sont ceux qui, directement ou indirectement, affectent le plus profondément notre sensibilité.

On peut s'étonner de voir invoquer la sensibilité à propos de démonstrations mathématiques qui, semble-t-il, ne peuvent intéresser que l'intelligence. Ce serait oublier le sentiment de la beauté mathématique, de l'harmonie des nombres et des formes, de l'élégance géométrique. C'est un vrai sentiment esthétique que tous les vrais mathématiciens connaissent. Et c'est bien là de la sensibilité.

Or, quels sont les êtres mathématiques auxquels nous attribuons ce caractère de beauté et d'élégance, et qui sont susceptibles de développer en nous une sorte d'émotion esthétique? Ce sont ceux dont les éléments sont harmonieusement disposés de façon que l'esprit puisse sans effort en embrasser l'ensemble tout en pénétrant dans les détails. Cette harmonie est à la fois une satisfaction pour nos besoins esthétiques et une aide pour l'esprit qu'elle soutient et qu'elle guide. Et en même temps, en mettant sous nos yeux un tout bien ordonné, elle nous fait pressentir une loi mathématique. De sorte que nous arrivons à la conclusion suivante. Les combinaisons utiles, ce sont précisément les plus belles, je veux dire celles qui peuvent le mieux charmer cette sensibilité spéciale que tous les mathématiciens connaissent, mais que les profanes ignorent au point qu'ils sont souvent tentés d'en sourire.

Qu'arrive-t-il alors? Parmi les combinaisons en très grand nombre que le moi subliminal a aveuglément formées, presque toutes sont sans intérêt et sans utilité; mais, par cela même, elles sont sans action sur la sensibilité esthétique; la conscience ne les connaîtra jamais; quelques-unes seulement sont harmonieuses, et, par suite, à la fois utiles et belles, elles seront capables d'émouvoir cette sensation spéciale du géomètre dont je viens de parler, et qui, une fois excitée, appellera sur elles notre attention, et leur donnera ainsi l'occasion de devenir conscientes.

Ce n'est là qu'une hypothèse, et cependant voici une observation qui pourrait la confirmer: quand une illumination subite envahit l'esprit du mathématicien, il arrive le plus souvent qu'elle ne le trompe pas; mais il arrive aussi quelquefois, je l'ai déjà dit, qu'elle ne supporte pas l'épreuve d'une vérification; eh bien! on remarque presque toujours que cette idée est fautive, si elle avait été juste, aurait flatté notre instinct naturel de l'élégance mathématique.

Ainsi, c'est cette sensibilité esthétique spéciale, qui joue le rôle du crible délicat dont je parlais plus haut, et cela fait comprendre assez pourquoi celui qui en est dépourvu ne sera jamais un véritable inventeur.

Toutes les difficultés n'ont pas disparu cependant; le moi conscient est étroitement borné; quant au moi subliminal, nous n'en connaissons pas les limites et c'est pourquoi nous ne répugnons pas trop à supposer qu'il a pu former en peu de temps plus de combinaisons diverses que la vie entière d'un être conscient ne pourrait en embrasser. Ces limites existent cependant; est-il vraisemblable qu'il puisse former toutes les combinaisons possibles dont le nombre effraierait l'imagination? cela semblerait nécessaire néanmoins, car s'il ne produit qu'une petite partie de ces

combinaisons , et s'il le fait au hasard, il y aura bien peu de chances que pour la *bonne*, celle qu'on doit choisir, se trouve parmi elles.

Peut-être faut-il chercher l'explication dans cette période de travail conscient préliminaire qui précède toujours tout travail inconscient fructueux. Qu'on me permette une comparaison grossière. Représentons-nous les éléments futurs de nos combinaisons comme quelque chose de semblable aux atomes crochus d'Epicure. Pendant le repos complet de l'esprit, ces atomes sont immobiles, ils sont, pour ainsi dire, accrochés au mur ; ce repos complet peut donc se prolonger sans que ces atomes se rencontrent, et, par conséquent, sans qu'aucune combinaison ne puisse se produire entre eux.

Au contraire, pendant une période de repos apparent et de travail inconscient, quelques-uns d'entre eux sont détachés du mur et mis en mouvement. Ils sillonnent dans tous les sens l'espace , j'allais dire la pièce où ils sont enfermés, comme pourrait le faire par exemple, une nuée de moucherons ou, si l'on préfère, une comparaison plus savante, comme le font les molécules gazeuses dans la théorie cinétique des gaz. Leurs chocs mutuels peuvent alors produire des combinaisons nouvelles.

Quel va être le rôle du travail conscient préliminaire ? C'est effectivement de mobiliser quelques-uns de ces atomes de les raccrocher du mur et de les mettre en branle. On croit qu'on n'a rien fait de bon, parce qu'on a remué ces éléments de mille façons diverses pour chercher à les assembler et qu'on n'a pu trouver d'assemblage satisfaisant. Mais après cette agitation qui leur a été imposée par notre volonté, ces atomes ne rentrent pas dans leur repos primitif. Ils continuent librement leur danse.

Or notre volonté ne les a pas choisis au hasard, elle poursuivait un but parfaitement déterminé ; les atomes mobilisés ne sont pas des atomes quelconques : ce sont ceux dont on peut raisonnablement attendre la solution cherchée. Les atomes mobilisés vont alors subir des chocs , qui les feront entrer en combinaison , soit entre eux , soit avec d'autres atomes restés immobiles et qu'ils seront venus heurter dans leur course. Je demande pardon encore une fois, ma comparaison est bien grossière ; mais je ne sais comment je pourrais faire comprendre autrement ma pensée.

Quoi qu'il en soit, les seules combinaisons qui ont la chance de se former , ce sont celles où l'un des éléments au moins est un de ces atomes librement choisis par notre volonté. Or, c'est évidemment parmi elles que se trouve ce que j'appelais tout à l'heure *la bonne combinaison*. Peut-être y a-t-il là un moyen d'atténuer ce qu'il y avait de paradoxal dans l'hypothèse primitive.

Autre observation. Il n'arrive jamais que le travail inconscient nous fournisse *tout fait* le résultat d'un calcul un peu long, où l'on n'a qu'à appliquer des règles fixes. On pourrait croire que le moi subliminal , tout automatique, est particulièrement apte à ce genre de travail qui est en quelque sorte exclusivement mécanique. Il semble qu'en pensant le soir aux facteurs d'une multiplication, on pourrait espérer le produit tout fait à son réveil, ou bien encore qu'un calcul algébrique, une vérification, par exemple, pourrait se faire inconsciemment. Il n'en est rien, l'observation le prouve. Tout ce qu'on peut espérer de ces inspirations, qui sont les fruits du travail inconscients, ce sont les points de départ pour de semblables calculs ; quant aux calculs eux-mêmes, il faut les faire dans la seconde période de travail conscient, celle qui suit l'inspiration ; celle où on vérifie les résultats de cette inspiration et où l'on en tire les conséquences. Les règles de ces calculs sont strictes et compliquées ; elles exigent la discipline, l'attention, la volonté, et, par suite, la conscience. Dans le moi subliminal règne, au contraire, ce que j'appellerais la liberté, si l'on pouvait donner ce nom à la simple absence de discipline et au désordre né du hasard. Seulement ce désordre même permet des accouplements inattendus.

Je ferai une dernière remarque ; quand j'ai exposé plus haut quelques observations personnelles, j'ai parlé d'une nuit d'excitation, où je travaillais comme malgré moi ; les cas où il en

est ainsi sont fréquents, et il n'est pas nécessaire que l'activité que l'activité cérébrale anormale soit causée par un excitant physique comme dans celui que j'ai cité. Eh bien ! il semble que dans ces cas, on assiste soi-même à son propre travail inconscient, qui est devenu partiellement perceptible à la conscience surexcitée et qui n'a pas pour cela changé de nature. On se rend alors vaguement compte de ce qui distingue les deux mécanismes ou, si l'on veut, les méthodes de travail des deux moi. Et les observations psychologiques que j'ai pu faire ainsi me semblent confirmer dans leurs traits généraux les vues que je viens d'émettre.

Certes, elles en ont bien besoin, car elles sont et restent malgré tout bien hypothétique : l'intérêt de la question est si grand que je ne me repens pas de les avoir soumises au lecteur.

EMERGENCE ET REDUCTION :
*Une analyse de la notion difficile d'émergence,
 qui complète et corrige celle de réduction*

*Texte issu du livre d'Alain STAHL :
 « SCIENCE ET PHILOSOPHIE Rivalentes, étrangères ou complémentaires ? » p.61 à 63
 Librairie philosophique JVRIN- Institut Interdisciplinaire d'Etudes Epistémologiques.*

Théorie *réduite* et théorie *réductrice* ne se situent pas au même niveau. Il est impensable qu'elles partagent exactement les mêmes concepts, mais, y a-t-il réellement *réduction* quand ceux-ci sont trop éloignés ? Inversement, même lorsque la *réduction* opère, la théorie *réduite* a ses concepts propres ; la *réduction* les fait *émerger*.

Prenons l'exemple de la molécule d'eau. Nous le verrons, la *réduction*, tant de la physique des états condensés que de la chimie, à la physique quantique se fait bien : les propriétés, physiques ou chimiques, de l'eau sont expliquées par celles des atomes d'hydrogène et d'oxygène, qui constituent ses molécules. Il n'en reste pas moins que ce sont des propriétés spécifiques qui ont *émergé*, à un autre niveau que celui des atomes.

Cela vaut aussi pour des concepts plus généraux et plus subtils ; nous venons d'évoquer celui de valence chimique : il *émerge* de ceux de la physique quantique, mais est spécifique de la science réduite, la chimie. La notion *d'émergence* est encore plus utilisée en biologie.^[1]

L'Encyclopédie Philosophique la définit comme "le surgissement de propriétés nouvelles, non nécessairement présentes, à partir d'une situation antérieure" ; un dictionnaire philosophique ancien (Foulquié) parlait de "propriétés nouvelles supérieures", et de « complexification ». Ces définitions ont l'inconvénient d'introduire des termes encore plus difficiles : "complexité", "supérieur", et surtout "nécessairement". Souvent en biologie, avec un sens un peu différent, elles mettent l'accent sur un aspect historique, évolutionniste : la vie *émerge* d'une soupe prébiotique ; l'homme, et son cerveau, *émergent* de la longue chaîne des êtres vivants. Le danger serait alors de réserver la notion *d'émergence* aux seuls finalistes ; par exemple, un neurobiologiste matérialiste peut parfaitement voir des états cérébraux *émerger* de combinaisons de neurones.

L'émergence permet à la science dérivée de garder une autonomie, en particulier en créant ses propres symboles, son propre langage, souvent plus *simple*. Inversement, ce qui est élémentaire (mais impliqué souvent dans des interactions *complexes*) restera défini dans le "métalangage" de la science *réductrice*. On retrouve la notion *d'émergence* dans l'adage connu : « Le tout est plus que les parties ».

Plus on va vers l'aval, plus il est difficile de trouver une explication scientifique, *réductionniste*, d'une *émergence* constatée. Le modèle de Heitler et London décrit clairement l'émergence d'une molécule d'hydrogène à partir de deux atomes. Mais souvent déjà, la physique des états condensés peine à expliquer les propriétés nouvelles qu'elle constate par de l'élémentaire. En biologie, c'est encore plus difficile pour les émergences que sont par exemple la formation et le fonctionnement d'organes entiers. A fortiori pour la conscience. Si on donne un sens extrême au mot

^[1] Même en mathématiques, la notion *d'émergence* est utile, dans le contexte de la combinaison de plusieurs *structures* différentes. Ainsi, d'un côté un groupe algébrique, de l'autre un espace topologique compact, sont des structures assez générales, et n'ont, par cela même, qu'un nombre relativement limité de propriétés. Les groupes topologiques, participant des deux *structures*, jouissent déjà d'un ensemble beaucoup plus étendu de propriétés : que l'on songe par exemple à l'existence d'une mesure de Haar sur tout groupe topologique localement compact, et au théorème de Peter-Weyl, d'après lequel toute représentation d'un groupe compact a la très forte propriété d'être analytique ; si l'on fait l'hypothèse supplémentaire que ce groupe est une variété indéfiniment dérivable, on voit ainsi *émerger* les groupes de Lie et les algèbres de Lie qui leur correspondent ; leurs deux *structures* sont dotées de très nombreuses propriétés, se prêtent à des classifications poussées, et trouvent des applications dans des domaines très divers.

émergence, il devient contradictoire avec le *réductionnisme*^[2]; ce n'est pas le cas si on lui conserve un sens pragmatique, celui de travailler à plusieurs niveaux.

La théorie des systèmes^[3] et le structuralisme insistent sur l'importance des relations entre les parties d'un tout ; pour eux, le tout *émerge* précisément de ces relations.

^[2] La position extrême du physicien R. Laughlin, (voir réf. du chapitre) est que nous sommes passés de l'ère du *réductionnisme* à celle de *l'émergence*. Malheureusement, nous venons de le voir, ce dernier concept, peu clair, est beaucoup moins fécond que le premier !

^[3] Voir 15-4.

L'ÉMERGENCE EN SCIENCE

Jean Paul BAQUIAST

Pour obtenir une vue générale des différentes pages composant ce dossier, consulter le Plan
<http://www.admiroutes.asso.fr/philoscience/plan.htm>

L'émergence

Le concept d'émergence est de plus en plus utilisé. Il repose sur la constatation que dans un ensemble formé de parties différentes, le tout est davantage que la somme des parties. Si nous regardons une montre, la montre est davantage que la somme de ses rouages. Si nous regardons un organisme vivant, celui-ci est plus que la somme de ses organes. Par ailleurs, ce qu'indique la montre, la mesure du temps et ce que l'on fera de cette mesure, ou le comportement qu'adopte l'organisme, ne peuvent être déduit de ce que sont les organes, même additionnés.

Ceci paraîtra une banalité, mais la portée philosophique du concept est bien plus grande qu'on ne l'imagine a priori. Elle confirme ce que la science des systèmes indiquait par ailleurs : un système, même composé d'éléments simples, risque d'évoluer dans le temps de façon imprévisible. L'informaticien et mathématicien américain Stephan Wolfram l'a montré dans le domaine des Automates cellulaires

(voir notre dossier <http://www.automatesintelligents.com/labo/2002/juin/doswolfram.html>).

Aujourd'hui, rien ni personne ne peut expliquer pourquoi telle règle simple appliquée à un automate cellulaire génère (ou non) telles formes compliquées. Il y a là quelque chose de très troublant.

Mais c'est en biologie et en physique que le phénomène de l'émergence est de plus en plus évoqué. En biologie, cela n'a rien d'inattendu. En physique, il oblige à admettre qu'il n'est pas possible d'expliquer l'apparition des structures complexes en recherchant des lois simples régissant les composants premiers de la matière. C'est tout récemment le prix Nobel américain Robert Laughlin qui l'a montré le mieux [A different Universe, Robert B. Laughlin Basic Books 2005]. Robert Laughlin est un physicien quantique. Il connaît donc bien le non-réalisme de la mécanique quantique. Il considère que celui-ci, grâce à la prise en considération du phénomène de l'émergence, devrait être importé dans la physique des objets de notre monde, dits macroscopiques. Il en donne des exemples à propos des états de la matière super-fluides ou de la supraconductivité. Bien que ces états soient couramment utilisés, nul physicien ne peut expliquer à ce jour d'où ils proviennent.

Pour Laughlin, l'émergence remet en cause le primat du réductionnisme. Celui-ci inspire au contraire les grandes théories de la physique cosmologique, notamment la M. Théorie ou théorie du Tout, puisqu'elle vise à donner en quelques équations les recettes permettant de reconstruire notre univers dans tous ses aspects. La M. Théorie repose sur le postulat qu'en analysant les entités complexes de ce monde, par exemple les atomes, on peut en extraire les éléments fondateurs qui permettront ultérieurement de reconstruire ces entités complexes ou de les modifier. Il s'agit donc d'une démarche réductionniste analytique, conforme à ce que proposait Descartes : réduire le tout à ses parties, pour mieux le comprendre. Mais pour un nombre croissant de physiciens, il s'agit d'une entreprise vaine, reposant sur une erreur de conception fondamentale. Le physicien anglais David Deutsch [voir notre article <http://www.automatesintelligents.com/biblionet/2004/jan/deutsch.html>] avait déjà constaté que la physique théorique, à elle seule, n'était pas capable d'expliquer la génération de complexité correspondant à l'apparition de la vie ou des grands systèmes cognitifs

collectifs propres aux sociétés humaines modernes. Il fallait trouver un autre paradigme explicatif. Depuis les travaux fondateurs de Stuart Kauffman (*At Home in the Universe, the Search for Laws of complexity and Organisation*, 1996), on sait aujourd'hui que ce paradigme existe, c'est celui de l'émergence. En forçant le trait, on dira que la théorie de l'émergence prend acte de l'échec de la pensée scientifique traditionnelle, analytique et mathématique.

L'émergence ne remplace pas une explication par une autre puisque précisément elle se borne à constater l'inexplicable. Elle ne permet pas en général de comprendre pourquoi tel phénomène complexe apparaît. A fortiori elle ne permet pas de prévoir comment évoluera ce phénomène. Elle permet seulement d'affirmer que cette apparition n'est pas due à un miracle mais qu'elle relève d'un processus physique. Elle est un peu comparable en cela à la théorie de la sélection darwinienne en biologie. La diversification des espèces s'explique en général par la sélection darwinienne, mais le détail de celle-ci comme la façon dont l'évolution se poursuivra à l'avenir ne peuvent être explicités par ce principe général. Ils ne peuvent qu'être constatés a posteriori.

Au plan d'une vision générale sur l'Univers, le concept de l'émergence ne permet pas de comprendre immédiatement pourquoi le monde est ce qu'il est et moins encore ce qu'il deviendra. Il permet juste de comprendre qu'aucune théorie réductionniste, comme la théorie du Tout évoquée ci-dessous, ne permettra jamais d'analyser et reproduire la complexité du monde. Mais en vérité il fait beaucoup plus. Il oblige à ouvrir les yeux sur des problèmes non résolus, voire insolubles en l'état, ce qui aura le grand avantage d'éviter que leurs soient données de fausses solutions. Parmi ces problèmes non résolus se trouvent les mécanismes eux-mêmes qui permettent l'émergence. Rien ne dit qu'ils seront un jour explicités par la science. Sont-ils généraux ou propres à tel ou tel domaine de la matière et de la vie ? On ne peut le dire encore. Mais il n'est pas interdit qu'à force de travail et en évitant les fausses bonnes solutions, on puisse en faire progressivement apparaître quelques-uns.

La « théorie » (qui n'est pas une théorie au sens traditionnel du terme) de l'émergence relève en effet du domaine scientifique. Elle ne se borne pas à constater l'hétérogénéité ou la non-prédictabilité de certains phénomènes, ce qui n'aurait aucun intérêt pratique. Lorsque le scientifique constate l'apparition d'un phénomène émergent, il a tout à fait le droit de l'étudier, en faire la typologie, l'intégrer au corpus des connaissances du moment. Il ne dira pas que le phénomène émergent révèle la réalité en soi du monde, il dira seulement qu'il s'intègre à l'ensemble des relations établies ici et maintenant entre un réel inconnaissable en essence, des instruments permettant de générer des phénomènes nouveaux et des esprits humains générateurs de systèmes de représentation symbolique. Dans cette perspective, le scientifique se doit d'être d'abord un expérimentateur instrumentaliste, aux yeux grands ouverts, comme le demande Robert Laughlin. C'est en effet en observant les phénomènes inattendus générés par le fonctionnement des appareils traditionnels ou nouveaux qu'il peut identifier des émergences pouvant expliquer ces phénomènes. Il ne prétend pas en faisant cela qu'il accède à une quelconque réalité en soi, à un quelconque univers fondamental. Il se borne à dire qu'il construit une réalité relative à lui et à ses observations, s'inscrivant momentanément et parfois localement dans le devenir de la société scientifique humaine, qui constitue elle-même une émergence plus globale.

Mais on peut penser que, même en ce cas, on ne pourra pas utiliser les mécanismes de l'émergence, à supposer qu'ils aient été compris, à générer tel univers plutôt que tel autre, sauf peut-être sur un plan très local. Les résultats obtenus auraient en effet de grandes chances d'être différents de ceux attendus, ce qui ne permet pas de grandes ambitions. Il faut se résoudre à vivre avec l'incertitude. Mais c'est peut-être ainsi que notre univers est devenu ce qu'il est.

La théorie de l'émergence ressemble ainsi un peu, au plan épistémologique, à la physique quantique. Celle-ci se refuse à postuler l'existence d'un réel en soi. Elle se borne à rassembler les interprétations relativisées des phénomènes que les observateurs voient émerger au travers de leurs instruments. A nouveaux instruments, à nouveaux observateurs, nouveaux phénomènes. Néanmoins,

l'émergence de ces nouveaux phénomènes permet de construire un monde qui bien que reposant sur des fondements inexplicables, existe cependant en termes de réalité relativisée, dans le monde macroscopique qui est le nôtre. La physique quantique est typiquement constructiviste. Elle construit un monde relatif à l'homme. On retrouvera là Protagoras: "L'homme est la mesure de toute chose". Mais l'homme n'est pas la seule mesure des choses. Comme il n'est pas le seul organisme complexe existant sur Terre, et dans la mesure où le processus de qualification des émergences provenant de l'univers quantique sous-jacent est accompli en permanence par d'innombrables organisations physiques ou matérielles en prise avec cet univers quantique, chacune de ces organisations construit sa propre réalité relative. On aura la réalité relativisée du termite ou celle de la bactérie, qui coexistera et éventuellement interagira avec la réalité relativisée construite par l'Homme. Autrement dit, on aboutira au monde complexe tel que la science humaine peut l'observer, résultant de l'activité émergente d'une infinité d'acteurs matériels et biologiques, sur fond d'indétermination quantique.

JPB 08/12/05

KARL POPPER : UNE EPISTEMOLOGIE DE D'EMERGENCE

Frédéric FABRE 2005

<http://perso.orange.fr/fred.fabre/pres.htm>

Lorsqu'on évoque l'épistémologie de Karl Popper, on pense d'abord à la « falsifiabilité ». Tout d'abord, que signifie ce mot ? C'est un anglicisme, qui vient de « false » (« faux » en anglais). Le terme « falsifiable » a été introduit pour la première fois par Popper en 1933 dans la revue autrichienne *Erkenntnis* pour signifier spécifiquement : « réfutable par l'expérience » (on est donc bien loin de la signification de ce mot en français dans le langage courant).

Karl Popper avait introduit cette notion pour des raisons purement techniques, afin d'opposer un critère de démarcation de la science empirique au critère de signification des positivistes, qu'il jugeait inadéquat et trop restrictif (Popper s'opposait notamment à Carnap, à la fois ami personnel et adversaire philosophique). Une théorie est dite empirique si elle peut avoir un rapport objectif avec l'expérience ; et comme une théorie scientifique, donc basée sur des lois naturelles, a une portée universelle, l'expérience singulière peut toujours la réfuter, mais jamais la prouver définitivement.

Dès la parution de *La logique de la découverte scientifique* en 1934 (en abrégé : LDS, mais le titre original était : *Logique de la recherche*), ce critère s'est trouvé naturellement en opposition à des formes de pensée de nature idéologique, qui prétendaient se poser en modèles de scientificité. Et encore aujourd'hui, ce critère rejeterait hors de la science bon nombre de « sciences humaines ».

Karl Popper est généralement considéré aujourd'hui dans les milieux scientifiques comme un des épistémologues les plus importants du XX^{ème} siècle (et même souvent comme le plus important). Mais il faut se souvenir que les idées de Popper ont eu beaucoup de difficultés à être acceptées, et sont encore souvent mal comprises ou rejetées dans certains milieux philosophiques. En fait, les travaux de Popper ont même le plus souvent été complètement ignorés pendant des décennies. Ainsi, la LDS n'a été traduite et publiée en France que quarante ans après sa première publication en langue allemande !

Pour être plus précis, on faisait comme si Popper n'existait pas. Prenons deux exemples significatifs d'ouvrages « de référence », écrits par d'éminents auteurs : *Les courants de l'épistémologie scientifique contemporaine* de Jean Piaget¹[1], et *La pensée scientifique moderne* de Jean Ullmo²[2]. Dans ces deux essais aux titres évocateurs, qui se veulent exhaustifs, les travaux de Popper ne sont certes pas critiqués : ils ne sont tout simplement pas mentionnés, même indirectement.

Pour expliquer les raisons d'un tel ostracisme, on se contente en général de dire qu'une attitude dogmatique, le refus du débat critique, sont incompatibles avec le « rationalisme critique » de Popper. D'autres aspects du problème doivent cependant être pris en compte.

¹[1] in *Logique et connaissance scientifique*, ouvrage collectif sous la direction de Jean Piaget, Paris, Gallimard, Encyclopédie de la Pléiade, 1967.

²[2] *La pensée scientifique moderne*, Paris, Flammarion, 1969.

Le psychologisme

Dès le début de la LDS, Popper procède à ce qu'il appelle l'élimination du psychologisme. Dans la lignée de Husserl, il rejette radicalement l'idée d'une théorie psychologique de la connaissance : l'origine psychologique ne peut être un critère de vérité (ou de fausseté). Par la suite, Popper se référera toujours au principe de transposition : ce qui est vrai en logique est vrai en psychologie, et non l'inverse ; l'explication psychologique ne peut s'ériger en théorie de la connaissance.

À l'opposé, si l'on prend l'exemple du système de Piaget, appelé épistémologie génétique^{3[3]}, système dont l'influence a été considérable dans l'épistémologie française (et Piaget constitue encore pour certains une autorité), l'origine psychologique est au contraire à la base de la théorie de la connaissance.

Par ailleurs, il serait facile à chacun de vérifier que beaucoup d'idéologues, psychologues, sociologues, etc., ne manquent jamais de ressortir la célèbre expression : « ça révèle quelque chose en vous », suivie d'une explication imparable, si vous remettez en question ne serait-ce qu'une partie de leurs théories. L'explication qu'ils donnent de votre critique s'intègre précisément dans la théorie préalablement critiquée, qui se trouve ainsi confirmée du fait même que vous la critiquez... Une théorie irréfutable par l'expérience est toujours aussi une théorie psychologique de la connaissance, et réciproquement.

Émergence ou pensée ultime

Dans le cadre de l'approche popperienne, y a une bonne et une mauvaise nouvelle. Commençons, comme il se doit, par la mauvaise : on ne peut jamais être sûr d'avoir une théorie vraie, dans quelque domaine que ce soit, et même (c'est du moins ce que je veux démontrer dans mon livre), il n'existe jamais de signification ultime d'une théorie donnée. La bonne nouvelle, c'est qu'on peut toujours progresser, c'est qu'il n'existe aucun obstacle logique (et donc psychologique, principe de transposition oblige) au progrès des connaissances.

Et c'est là où l'on peut voir que l'approche popperienne est d'autant plus intéressante et féconde qu'elle est moins originale qu'on l'imagine : elle relève de la même épistémologie de l'émergence que l'on trouve déjà chez Gödel, lorsqu'il oppose son célèbre théorème au programme réductionniste de Hilbert ; ou encore chez Mandelbrot qui, fuyant l'École Normale Supérieure où il ne supportait plus l'influence écrasante de Bourbaki, développe des mathématiques qui précisément ne s'y réduisent pas - non pas que Bourbaki ne serait pas le bon système ultime : il n'en existe pas.

Mais cette idée d'une possibilité illimitée du progrès des connaissances peut être perçue comme plutôt inconfortable : la « bonne nouvelle » n'en est pas une pour tout le monde ; elle ne permet pas de s'arrêter à un mode de pensée ultime auquel on puisse une bonne fois pour toutes se référer.

L'épistémologie : science naturelle, science historique, ou science formelle ?

Je traite cette question de façon détaillée dans mon livre, aussi je ne m'y attarderais pas trop ici. Je défends la thèse que l'épistémologie ne peut être qu'une science formelle, sauf à tomber dans

^{3[3]} Le terme « génétique » doit être pris ici au sens à la fois de « genèse des connaissances » et de « genèse des structures cognitives » du sujet connaissant.

des contradictions insolubles. Cette position semble aujourd'hui minoritaire, et est en totale opposition avec les tentatives de naturalisation de la logique et de l'épistémologie (Wittgenstein, Quine), avec l'explication historique (Kuhn, Toulmin), le relativisme (Feyerabend), et bien sûr le psychologisme et le sociologisme (Piaget, Foucault).

Bien qu'il n'utilise pas lui-même ce terme, Popper se sert bien de l'épistémologie comme d'une science formelle. À ma connaissance, le seul qui ait explicitement affirmé que l'épistémologie relève de la logique est Emmanuel Malolo Dissakè, dans sa présentation du livre de Popper : *La théorie quantique et le schisme en physique* 4[4] (livre dont il est le traducteur).

Toutefois, on trouve chez certains physiciens une approche similaire : notamment Mioara Mugur-Schächter et Michel Bitbol qui, dans le cadre de leurs recherches portant sur l'interprétation du formalisme et la relation entre théorie et expérience en physique quantique, ont développé l'idée d'une « épistémologie formelle ».

Émergence et représentation : de quoi s'agit-il ?

Émergence : comme émergence de nouvelles significations. Représentation : non directement comme représentation du monde, mais comme représentation des concepts ou des théories. Par exemple, en représentant d'une certaine façon le concept classique de dimension, Mandelbrot a découvert le concept de dimension fractale, étendant ainsi aussi bien les significations que le domaine d'application du concept de dimension.

Mon objectif dans ce livre est de montrer que le processus du progrès des connaissances, y compris dans le cas des sciences empiriques, relève toujours d'une problématique similaire, et d'en examiner les tenants et aboutissants.

J'ai utilisé plusieurs exemples empruntés aux mathématiques et à la physique. La plupart sont en principe accessibles à un étudiant du premier cycle. On peut bien sûr seulement survoler ces exemples, mais je crois qu'il est important de montrer qu'en épistémologie, on ne doit pas se contenter de considérations générales. Je me suis également servi de la logique classique : ceux qui n'ont jamais fait de logique formelle trouveront ce dont ils ont besoin dans tout manuel de logique élémentaire.

Il ne s'agit donc pas d'une thèse sur Popper (bien qu'un chapitre soit entièrement consacré à clarifier la signification du critère de falsification). J'ai utilisé l'approche popperienne comme un outil de travail pour explorer un autre domaine. Ce qui montre précisément à quel point cette approche peut être féconde : loin de n'être qu'un système replié sur lui-même, ou une « grille explicative » comme le sont les systèmes dogmatiques, l'épistémologie popperienne permet elle-même l'émergence de nouvelles perspectives en théorie de la connaissance.

4[4] *Audi alteram partem*, Karl Popper, *La théorie quantique et le schisme en physique*, Paris, Hermann, 1996 p. xvii.