

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS
UNIVERSITE PARIS DIDEROT
(SORBONNE PARIS CITE)
ECOLE NORMALE SUPERIEURE

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE LA TERRE

HISTOIRE DES IDEES EN GEOSCIENCES

Un SEMINAIRE D'HISTOIRE DES IDEES EN GEOSCIENCES est proposé dans le cadre de l'école doctorale des sciences de la Terre (IPGP-Paris Diderot-ENS). Ce cours a pour but d'intéresser avant tout les doctorants et d'être autant que possible en rapport avec leur activité de recherche. Il doit leur permettre d'accroître leur connaissance de l'histoire de leur discipline (prise au sens large), de faire part d'expériences historiques vécues par certains des conférenciers, de promouvoir une culture du respect du doute et de la discussion, de montrer l'évolution des idées et le changement drastique de statut de certains paradigmes au cours du temps.

Ce cours débutera fin janvier 2012 et aura lieu le lundi de 9h à 12h. Il comprendra une douzaine de séances organisées en deux séquences. Chaque séance pourra comprendre une première heure impliquant activement les doctorants (exposés sur un article historique original important en rapport avec le sujet de la séance qui va suivre; exposés en relation avec le travail de thèse... ceci sera précisé par chaque conférencier:) suivie d'une présentation de deux heures par le conférencier du jour. Chaque conférencier pourra en fait agencer sa séance à sa guise.

La validation du cours demande l'assistance à au moins 6 séances et un travail personnel ou en binôme qui sera défini avec chaque doctorant (exposé, analyse d'un texte,...).

Le programme prévu est le suivant :

Séquence 1 :

- 1) (30/1) **Introduction par Vincent Courtillot et Frédéric Perrier**
- 2) (6/2) **Jean Dhombres: Histoire et géologie - un peu de méthodologie**
- 3) (20/2) **Claude Debru: L'explication causale dans l'histoire des sciences expérimentales**
- 4) (27/2) **Claude Allègre: L'âge de la Terre**
- 5) (5/3) **Vincent Debaris: De Galilée à Bouguer, la naissance de la géodésie dynamique**
- 6) (12/3) **Jean-Paul Poirier: Histoire de la science des tremblements de terre**

Séquence 2 :

- 7) (26/3) **Claudine Cohen: Les Théories de la Terre aux 17e/18e siècle**
- 8) (2/4) **Dominique Lecourt: Géologie et révélations**
- 9) (14/5) **Pascal Richet: Le temps géologique à travers les âges**
- 10) (21/5) **Jean-Louis Le Mouél: Histoire du magnétisme**
- 11) (28/5) **Gaston Godard : 200 ans de contribution de la pétrologie à la géodynamique**
- 12) (4/6) **Discussion finale par Vincent Courtillot et Frédéric Perrier**

Chaque séance fait l'objet ci-dessous d'un bref résumé et d'une liste d'ouvrages à consulter.

2) Jean Dhombres (6/2/12):

Histoire et géologie - un peu de méthodologie.

Résumé :

Un simple clic sur google par exemple, et l'on trouvera aisément de nombreuses et souvent utiles références sur l'histoire de la géologie, permettant à chacun de choisir en fonction de ses intérêts ou de ses goûts. Mais quelqu'un de formé par les sciences peut se sentir d'abord débordé devant une telle abondance de textes, et plus encore désarçonné par le recours aux textes des savants du passé. Je ne propose pas vraiment une sorte de guide, mais je veux d'abord signaler que toute histoire d'une science ne va pas de soi, et qu'un minimum de méthodologie s'avère nécessaire, sans pour autant qu'il faille abandonner l'essentiel, qui est la curiosité. Le scientifique qui veut s'intéresser à l'histoire, et qui s'est d'abord débarrassé de la question - qui est le premier qui ? - doit parvenir à formuler des questions, car comme l'on dit dans le jargon philosophique, l'histoire des sciences n'a pas une épistémologie propre. Par ailleurs, tout amateur d'histoire sent bien que lorsque de science il s'agit, il n'est pas pour autant possible de négliger les théories générales sur le savoir, les textes de Karl Popper sur la réfutation, de Gaston Bachelard sur les obstacles épistémologiques, ou de Thomas Kuhn sur les révolutions scientifiques, sans oublier les textes anciens sur la science chez Aristote ou chez Galilée. Je propose en quelque sorte de prouver le mouvement en marchant, c'est-à-dire d'introduire à ces différentes idées générales en fixant l'attention sur des questions assez particulières, des cas pourrait-on dire, ou des micro-histoires. Il y aura d'abord la question de la naissance de la géologie, et le livre de Gohau servira de guide, pour s'interroger sur ce qui a pu changer pour la géologie avec les Lumières. Mais il sera aussi discuté comment se crée une communauté de chercheurs, et comment aussi se résout une querelle scientifique, avec l'affaire du Dévonien (selon le livre de Rudwick). La question de la mathématisation de la géologie sera traitée avec l'invention des isothermes par Alexandre von Humboldt en 1817 dans les Mémoires de la Société d'Arcueil, sous la houlette de Laplace, le tenant du déterminisme au nom de la fondation d'une nouvelle causalité, celle des probabilités. Cette même question, positiviste par excellence, devient celle de savoir comment une science use des mathématiques sans se laisser dominer par elles: elle sera envisagée avec l'équation aux dérivées partielles de la chaleur de Fourier, et ses raisonnements sur la chaleur de la Terre. Ce qui conduira à la discussion sur les outils mathématiques comme l'intégrale de Fourier indispensable à la résonance magnétique nucléaire, et peut-être jusqu'aux ondelettes utilisées pour des forages pétroliers.

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

Gabriel Gohau, *Les sciences de la Terre aux XVIIe et XVIIIe siècle. Naissance de la géologie*, Albin Michel, 1990.

Martin J.S. Rudwick, *The Great Devonian Controversy : the Shaping of Scientific Knowledge and gentlemanly Specialists*, The University of Chicago Press, 1985.

Martin J.S. Rudwick, *Lyell and Darwin, geologists, Studies in the Earth Science in the Age of Reform*, Aldershot, Ashgate, 2005.

Pierre Simon de Laplace, *Exposition du système du monde*, Paris, 1796 ; l'édition posthume de 1835 est disponible dans le Corpus des œuvres de philosophie en langue française, Arthème Fayard, Paris, 1984, particulièrement au livre V , les chapitres V et VI, et ce qu'on appelle l'hypothèse cosmogonique de Laplace.

Jean Dhombres, Jean-Bernard Robert, *Fourier, créateur de la physique mathématique*, Belin, Paris, 1998.

3) **Claude Debru (20/2/12):**

Sur quelques problèmes liés à la notion de causalité et à la détermination des causes en physiologie et médecine.

Résumé :

La notion commune de causalité (influence causale, proportionnalité de l'effet à la cause) a été parfois l'objet de critiques sévères. A la fin du XIXe siècle, le physicien Ernst Mach considérait la notion de causalité comme l'expression d'une conception du monde "primitive et pharmaceutique", et proposa de lui substituer la notion mathématique de dépendance fonctionnelle réciproque, en mettant en application la théorie des fonctions de plusieurs variables. Cette vision de physicien sensible à la pluralité de facteurs (par exemple en cosmologie) restait cependant déterministe, alors que la vision probabiliste bayésienne avait depuis longtemps pénétré d'autres domaines comme les "sciences morales" ou la médecine. On s'attachera particulièrement à décrire les difficultés de l'établissement de relations causales à partir d'exemples tirés de la recherche en physiologie expérimentale (établissement de conditions nécessaires et suffisantes) ou en médecine clinique (facteurs de risque). L'établissement de relations causales n'apparaît plus que comme un moment parmi d'autres de la démarche scientifique dans la description de systèmes d'un haut degré de complexité.

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

Anne Fagot-Largeault, *Les causes de la mort*, Paris, Vrin, 1991.

Jean Piaget, *L'explication causale*, Paris, PUF, 1971.

Alison Gopnik et Laura Schulz, *Causal Learning, Psychology, Philosophy, and Computation*, Oxford Univ. Press, 2007.

4) Claude Allègre (27/2/12):

L'âge de la Terre.

Résumé :

La question de l'âge de la Terre a été abordée sur des bases scientifiques d'abord par Buffon puis par Lord Kelvin. Buffon s'appuyait sur des expériences de laboratoire concernant le refroidissement de boules d'acier et de plâtre. Kelvin lui utilisait la théorie de la propagation de la chaleur établie par Joseph Fourier. Ce n'est qu'avec la découverte de la radioactivité que le problème a franchi un pas essentiel. Indépendamment en 1906 Pierre Curie et Ernest Rutherford proposent de dater les terrains à l'aide de la désintégration radioactive. Les premières déterminations sont faites par Rutherford et Strutt, puis par Boltwood et Holmes. Mais ce n'est que juste avant la seconde guerre mondiale que l'utilisation des isotopes du plomb par Al Nier permet de poser le problème non plus de l'âge des roches mais de celui de la Terre. Holmes en Grande-Bretagne, Gerling en URSS, Houteman en Suisse développent les premières méthodes quantitatives qui convergent vers 3,5 milliards d'années. En 1953, Clair Patterson au cours de sa thèse à l'université de Chicago montre que les météorites ont un âge commun de 4,55 milliards d'années et que la Terre a le même âge. Cette approche va être améliorée au cours du demi-siècle qui suit, mais sans changer l'ordre de grandeur. En revanche, à partir des années 1990, la notion d'âge de la Terre elle-même est remise en cause dès que l'on constate que la planète a mis 100 à 150 millions d'années à se former. Que veut aujourd'hui dire l'âge de la Terre ?

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

A. Hallam, *Great Geological Controversies*, Oxford Univ. Press, 1983.

C. Lewis, *The Dating Game*, Cambridge Univ. Press, 2000.

C. Allègre, *De la Pierre à l'Etoile*, Fayard, 1985.

B. Dalrymple, *The Age of the Earth*, Stanford Univ. Press, 1991.

5) Vincent Deparis (5/3/12):

De Galilée à Bouguer, la naissance de la géodésie dynamique

Résumé :

Si la gravimétrie a émergé avec les expériences de Galilée, elle n'a pris toute sa dimension qu'avec les découvertes de Huygens sur le pendule, qui devint l'instrument de mesure de la pesanteur, et les développements théoriques de Newton. En restant centré sur le globe, nous montrons que l'établissement d'une théorie cohérente de la pesanteur terrestre fut un processus long et complexe. En particulier, les influences de la force centrifuge due à la rotation de la Terre, de la forme de la planète et des montagnes sur la variation de l'intensité et de la direction de la pesanteur ne furent comprises que très progressivement. Ce sont ces difficultés pour intégrer l'ensemble des phénomènes dans un système cohérent qui dévoilent les obstacles rencontrés et les avancées graduelles de la pensée. Nous montrons également comment, avec Clairaut et Bouguer, la gravimétrie s'ouvrit à une nouvelle dimension : la connaissance des profondeurs du globe.

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

V. Deparis et H. Legros, *Voyage à l'intérieur de la Terre. De la géographie antique à la géophysique actuelle. Une histoire des idées*. Paris, CNRS Editions, 2000.

H. Lacombe et P. Costabel (sous la direction de), *La figure de la Terre du XVIIIe siècle à l'ère spatiale*. Paris, Gauthier-Villars, 1988.

F. Trystram, *Le procès des étoiles* (un roman épique sur l'expédition au Pérou de Bouguer, Godin et La Condamine). Réédition Paris, Petite Bibliothèque Payot/Voyageurs, 2001.

6) J.P. Poirier (12/3/12):

Histoire de la science des tremblements de terre

Résumé :

Pourquoi *Histoire de la science des tremblements de terre* et non *Histoire de la sismologie*? C'est que la sismologie est une vaste discipline, subdivisée en plusieurs domaines qui ressortissent à différents centres d'intérêt: Etude de la propagation des ondes sismiques; application des résultats de cette étude à la structure de l'intérieur de la Terre...et enfin, ce qui nous intéressera ici étude des tremblements de terre et de leurs causes.

La science moderne des tremblements de terre est très jeune et puisqu'il s'agit d'histoire, il faut remonter dans le passé préscientifique.

Le phénomène effrayant du tremblement de terre a d'abord, bien naturellement, été attribué à des divinités qui manifestaient ainsi leur pouvoir ou leur courroux.

Aristote attribua les séismes à des tempêtes souterraines et sa théorie pneumatique survécut, sous diverses formes, pendant plus de deux millénaires. Ainsi, on considéra les tremblements de terre comme des ébranlements dûs à la vapeur d'eau, ou bien à l'explosion des matières combustibles du sous-sol, ou encore à des orages électriques souterrains.

Malgré quelques précurseurs comme Dolomieu, ce n'est que dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, en particulier avec Mallet, que l'on commença à s'intéresser sérieusement aux aspects géologiques des séismes. Vers la fin du siècle et au début du XX^e siècle, une série de grands tremblements de terre et l'apparition d'instruments pour les détecter et les mesurer, les sismographes, fit entrer la sismologie (on disait alors, plus raisonnablement, la séismologie) dans l'ère moderne. Montessus de Ballore posa les premiers fondements de la théorie tectonique des tremblements de terre. Reid énonça la théorie du rebond élastique après le séisme de San Francisco en 1906. La théorie de la source sismique et de la mesure de la magnitude et de l'intensité des séismes devait suivre au cours du XX^e siècle.

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

E. Guidoboni & J.P. Poirier, *Quand la Terre tremblait*, O. Jacob, 2004

J.P. Poirier, *Le tremblement de terre de Lisbonne*, O. Jacob, 2005

7) Claudine Cohen (26/3/12):

Les Théories de la Terre aux 17e/18e siècle : préhistoire de la géologie

Résumé :

Descartes avait dans les 3e et 4e parties des *Principia philosophiae* (1644) formé pour la première fois le projet d'une histoire de la Terre, conçue comme une explication mécanique de sa formation, fondée sur «*quelques principes qui soient fort intelligibles et fort simples, desquels nous faisons voir clairement que les astres et la Terre, et enfin tout ce monde visible aurait pu être produit ainsi que de quelques semences*». Après lui, les diluvianistes anglais de la fin du 17e siècle tenteront de conférer à la fiction cartésienne de l'histoire terrestre un statut de réalité tout en en faisant coïncider les différents moments avec les épisodes du récit biblique. En Italie, en Allemagne, en France, de multiples «théories de la Terre» seront élaborées tout au long du 18e siècle, soit pour soutenir la Théologie naturelle, soit au contraire pour la récuser en termes matérialistes. A ces constructions spéculatives, dont les *Epoques de la Nature* (1788) de Buffon constituent sans doute à la fois l'apogée et le terme, se substituent dès le tournant du 19e siècle de nouvelles approches dégagées de l'emprise des textes religieux et plus attentives aux détails de l'observation empirique, qui constitueront les bases de la géologie scientifique.

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

Claudine Cohen et André Wakefield, *Leibniz, Protogaea*, (édition, annotation et introduction) The U. of Chicago Press 2008, paperback 2010.

Claudine Cohen, *Science, libertinage et clandestinité à l'aube des Lumières. La Genèse de Tellamed*, Paris, PUF 2011.

Rhoda Rappaport, *When Geologists were historians*, Cornell University Press, 1997.

Jacques Roger, La Théorie de la Terre au XVIIe siècle, *Rev. Hist Sciences*, XXVI/I 1973.

Paolo Rossi, *The Dark Abyss of Time*, The U. of Chicago Press, 1984.

Martin Rudwick, *Bursting the Limits of Time*, the U. of Chicago Press, 2005.

8) Dominique Lecourt (2/4/12):

Géologie et révélations

Résumé :

Le débat sur la conformité des « théories de la Terre » au texte de la Genèse avait été engagé en Angleterre depuis fort longtemps, au moins depuis la publication par le Rév. Thomas Burnet de sa *Telluris theoria sacra (Théorie sacrée de la Terre)* entre 1680 et 1690. Ce débat sous-tendait les grandes controverses qui opposaient les « neptunistes », les partisans de l'Allemand Abraham G. Werner (1750-1817) qui expliquait la formation des strates rocheuses par inondations successives — et les « vulcanistes » — les disciples de l'Écossais James Hutton (1726-1797) qui en 1795 avait publié sa *Theory of the Earth*, laquelle présentait à ses yeux une « admirable économie » dont l'ordre remontait fort loin dans le temps et pouvait s'expliquer par une série de mouvements analogues aux mouvements volcaniques imputables à un « feu souterrain ». On s'affronte autour de deux questions essentielles : l'âge de la Terre qui paraît beaucoup plus grand que les quatre à six mille ans autorisés, selon les interprétations, par le texte biblique ; la réalité du Déluge tel qu'il est décrit comme un événement unique, instantané et universel. La première induit, comme sa conséquence, une interrogation sur les « six jours » de la création : s'agit-il vraiment de jours de vingt-quatre heures ? Comment alors expliquer qu'il puisse y avoir eu selon la Genèse deux « jours » et deux « nuits » avant la création du Soleil ? La seconde entraîne comme son corollaire la question de l'Arche de Noé, et par ce biais celle de la création des espèces.

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

Charles G. Gillispie, *Genesis and Geology*, (1959), Harvard University Press, New edition 1996.

Stephen Jay Gould, *Time's Arrow, Time's Cycle*, Harvard University Press, 1987, trad. franç. *Aux racines du temps* (1987), rééd. Le Livre de Poche, 1997.

Dominique Lecourt, *L'Amérique entre la Bible et Darwin, suivi de Intelligent design : science, morale et politique* (1992), 3^e rééd. Quadrige/PUF, 2007.

9) Pascal Richet (9/4/12):

Le temps géologique à travers les âges

Résumé :

Comment l'observation de la nature a-t-elle fait successivement passer d'une conception "cyclique" du temps, dans l'Antiquité, dans un monde qu'on pensait éternel, à la "flèche du temps", dans des cadres chronologiques qui se comptèrent par milliers d'années seulement jusqu'au XVIIIe siècle, avant d'aboutir aux milliards d'années de la géochimie isotopique ? C'est une longue histoire qui impliqua le cours des astres, la précession des équinoxes, la "vie" des pierres, l'origine des fossiles, les extinctions d'espèces, la figure de la Terre, la sédimentation, l'érosion, la chaleur primitive de la Terre, la salure de la mer, l'énergie du soleil, la radioactivité...

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

F. Ellenberger, *Histoire de la géologie*, 2 vols, Lavoisier, 1988 et 1994.

P. Richet, *L'âge du monde*, Le Seuil, 1999.

S. Toulmin et J. Goodfield, *The Discovery of Time*, Harper & Row, 1965.

10) Jean-Louis Le Mouël (21/5/12):

Histoire du magnétisme

Résumé :

La science du géomagnétisme a marché de pair, dès le 13^e siècle, avec celle du magnétisme au sens large. Quelques dates marquent leur histoire : l'étonnante lettre de Pèlerin de Maricourt (1269), le *de Magnete* de Gilbert (1600), la carte magnétique de l'océan atlantique de Halley (1701), les expériences de Coulomb (1785-1789), la « théorie du champ magnétique terrestre » de Gauss (1838). Cette longue succession de siècles a été nécessaire pour distinguer les différentes composantes du champ magnétique de la Terre, qui couvrent une vaste gamme d'échelles d'espace et de temps, composant un message bien embrouillé. Il était éclairci, dans ses grandes lignes, à la fin du 19^e siècle. Mais bien peu était compris des mécanismes à l'origine du champ. Ce sera l'œuvre du 20^e siècle et, pour ce qui est du champ principal d'origine interne, de sa seconde moitié.

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

S. Chapman et J. Bartels, *Geomagnetism*, Oxford University Press, 1940.

V. Courtillot et J.L. Le Mouël, The study of Earth's magnetism (1269-1950) : a foundation by Peregrinus and subsequent development of geomagnetism and paleomagnetism, *Rev. Geophys.*, 45, 3008, 2007.

S.R.C. Malin, Historical introduction to geomagnetism, in *Geomagnetism*, édité par J.A. Jacobs, Elsevier, 1987.

P. Radelet de Grave et D. Speiser, Le *de Magnete* de Pierre de Maricourt, traduction et commentaire, *Rev. Hist. Sci.*, 28, 193-234, 1975.

J.A. Smith, Precursors to Peregrinus : the early history of magnetism and the mariner's compass in Europe, *J. Medieval Hist.*, 18, 21-74, 1992.

D.P. Stern, A millenium of geomagnetism, *Rev. Geophys.*, 40, 1007, doi :10.1029/2000RG000097, 2002.

G.L. Vershuur, Hidden attraction : the mystery and history of magnetism, Oxford Univ. Press, 1993.

11) Gaston Godard (28/5/12):

Du microscope aux chaînes de montagne : deux siècles de contribution de la pétrologie à la géodynamique; l'exemple des roches de haute pression

Résumé :

Au cours des deux derniers siècles, le développement de la pétrologie endogène a eu des retentissements importants sur les conceptions de la dynamique terrestre. La formation des granites, l'origine des ophiolites (mot créé dès 1827 par Brongniart), et la signification des roches de haute pression, en particulier des écloğites, en sont quelques illustrations. Nous développons ici ce troisième exemple. En 1822, Haüy créa le nom « écloğite », du Grec eklogh, signifiant « choix ». Cette *roche de choix* suscita l'intérêt de nombreux pétrographes européens, mais son origine demeura longtemps discutée. L'hypothèse d'une formation par métamorphisme de roches gabbroïques s'imposa lorsqu'on observa des transitions entre gabbro et écloğite. En 1903, Becke eut l'idée d'appliquer la loi des volumes à ces roches et en déduisit qu'elles étaient l'équivalent de haute pression des gabbros, simplement en raison de la plus grande densité des paragenèses écloğitiques. En 1921, Eskola introduisit l'importante notion de faciès métamorphique, avec un faciès écloğite caractérisé par des conditions de haute pression. Parallèlement, ces roches étaient impliquées dans diverses hypothèses géodynamiques. Vers 1900, l'étude des diatrèmes kimberlitiques favorisa la croyance en une abondance d'écloğite à l'intérieur de la Terre. Fermor en 1912, puis Goldschmidt, prédirent l'existence d'une couche écloğitique dense dans le manteau. Cette hypothèse fut envisagée jusque vers 1970, époque à laquelle l'alternative d'un manteau péridotitique s'imposa, après que les expériences sur la transition gabbro-écloğite aient démontré que celle-ci ne pouvait pas coïncider avec la discontinuité de Mohorovičić. Par ailleurs, les ceintures métamorphiques de haute pression, à écloğites et « schistes bleus », caractéristiques des chaînes alpines, étaient considérées comme des reliques d'ophiolites, épanchées au fond de géosynclinaux, puis métamorphisées par la surcharge liée à l'empilement des nappes. Après l'acceptation de la tectonique des plaques, vers 1970, on admit que ces mêmes ceintures de haute pression étaient de la croûte océanique, transformée en écloğite dans des zones de subduction, puis intégrée aux chaînes de montagne. Curieusement, la formation d'écloğite dans des zones de « subsidence » (*i.e.* de subduction) avait été envisagée dès 1931 par Holmes, qui avait conçu une théorie de courants de convection dans le manteau. La découverte en 1984 de coesite dans des roches crustales, puis celle de microdiamants, ont propulsé les pressions maximales atteintes par les roches écloğitiques à quelque 40 kbar, correspondant à des profondeurs de formation de plus de 100 km. Le mécanisme d'exhumation de roches aussi profondes lors de la formation de chaînes de montagne demeure encore largement énigmatique.

Ouvrages qui peuvent être consultés en préparation:

W.R. Jacoby, G. Ranalli [eds.] (2001)- Special Issue: "Geodynamics: History and Perspectives". *Journal of Geodynamics*, 32 (1-2), pp. 1-288.

G. Godard (2001)- Eclogites and their geodynamic interpretation: a history. *Journal of Geodynamics*, 32 (1-2), pp. 165-203.