

Communiqué Janvier 2015

Chaire Développement durable – Environnement, énergie et société
Année académique 2014 – 2015

**Georges Calas, spécialiste des minéraux et des verres et des relations structure-propriétés
dans les matériaux est nommé professeur invité**

Leçon Inaugurale le 22 janvier 2015 à 18h00

Les **ressources minérales** ont de tout temps constitué un secteur important de l'activité économique, sans lequel notre environnement technologique quotidien serait fortement différent, tant il est vrai que les métaux et les matériaux minéraux -céramiques, verres, ciment, plâtre, pigments- sont des composantes de nos civilisations depuis leur origine.

Récemment, certains experts se sont inquiétés sur **l'aspect fini des réserves disponibles**, en raison de crises internationales fortement médiatisées, notamment sur les **approvisionnements en métaux critiques (terres rares, lithium...)**. Les questions les plus importantes concernent cependant les aspects **économiques et les implications sociétales** de l'exploitation des ressources minérales de notre planète ainsi que les **impacts environnementaux des activités présentes et passées**.

Comment utiliser les ressources minérales de notre planète en termes acceptables pour notre planète et ses habitants ? Comment le progrès des connaissances scientifiques et techniques peut-il nous permettre de les exploiter de façon durable ?

Ces interrogations sur l'évolution socio-économique associée au partage des richesses minières, sur la durabilité de la ressource minérale et les impacts environnementaux de son exploitation, ainsi que les informations géologiques exceptionnelles qu'apportent les ressources minérales à notre connaissance de la Terre, font de ce domaine un champ d'observation unique de notre planète et de nos sociétés.

En nommant Georges Calas, Professeur à l'Institut de Minéralogie, physique des matériaux et cosmochimie (Université Pierre et Marie Curie) et membre de l'Institut Universitaire de France, le Collège de France vise à animer une réflexion autour des connaissances actuelles sur les ressources minérales et leurs conditions de formation, ainsi que sur les implications environnementales et économiques de l'activité minière et la gestion de l'après-mine, en montrant la progression des concepts au cours des dernières décennies.

.....

Georges Calas donnera sa leçon inaugurale, *Les ressources minérales, base de notre civilisation industrielle : des défis majeurs pour le XXIème siècle*, le jeudi 22 janvier 2015 à 18h. Ses cours auront lieu les mardis à 15h30, à partir du 27 janvier 2015 sur le thème, *Les ressources minérales, un enjeu majeur dans le contexte du développement durable*.

Le soutien de TOTAL permet, notamment, de mettre à disposition du public l'ensemble de ce cycle d'enseignement consultable sur le site Internet du Collège de France (www.college-de-france.fr) en version française et en version anglaise.

La chaire Développement durable – Environnement, Energie et Société

La chaire Développement durable – Environnement, Energie et Société a été créée en 2008 par le Collège de France avec le soutien de Total. Cette chaire thématique permet d'inviter chaque année une personnalité de premier plan afin d'ouvrir l'enseignement sur les grands enjeux du développement durable.

La première année d'enseignement a été dispensée par le démographe **Henri Leridon** suivi par **Nicholas Stern**, auteur d'un rapport de référence sur l'économie du changement climatique, **Jean-Marie Tarascon**, scientifique pionnier dans le développement des batteries au lithium, **Paul Colonna**, spécialiste de la biochimie des végétaux, **Anny Cazenave**, spécialiste des sciences de la planète et de l'observation de la terre depuis l'espace et **Gilles Bœuf** qui a présenté les dernières connaissances dans le domaine de la biodiversité.

À propos du Collège de France

Le Collège de France est un établissement public d'enseignement supérieur qui associe étroitement la recherche fondamentale et l'enseignement de cette recherche. L'institution compte cinquante-sept professeurs qui travaillent avec plusieurs centaines de chercheurs, ingénieurs et techniciens. Les chaires couvrent de nombreux domaines : mathématiques, physique, chimie, biologie, histoire, archéologie, linguistique, orientalisme, philosophie, sciences sociales, etc. Les cours sont ouverts à tous et disponibles en audio et/ou vidéo sur le site de l'institution (www.college-de-France.fr). En 2012, 19 millions d'heures de cours ont été téléchargées

À propos de Total

Total est l'un des tout premiers groupes pétroliers et gaziers internationaux, exerçant ses activités dans plus de 130 pays. Le Groupe est également un acteur de premier plan de la chimie. Ses 96 000 collaborateurs développent leur savoir-faire dans tous les secteurs de ces industries : exploration et production de pétrole et de gaz naturel, raffinage et distribution, énergies nouvelles, trading et chimie. Ils contribuent ainsi à satisfaire la demande mondiale en énergie, présente et future.

Depuis 2005, Total s'est doté d'une université d'entreprise dont l'action est centrée sur deux missions principales : ouvrir des espaces de réflexion et de discussion sur des questions influençant l'avenir de ses activités et renforcer ses liens avec le monde universitaire (www.total.com)

Contacts presse

Collège de France

Marie Chéron / Cécile Barnier :

01 44 27 12 72

cecile.barnier@college-de-France.fr

Total

Laetitia Maccioni

01 47 44 71 49

presse@total.com

« Pour combien de temps dispose-t-on encore de ressources minérales accessibles en termes acceptables pour notre planète et ses habitants ? » se questionne Clément Sanchez, titulaire de la chaire Chimie des matériaux hybrides, qui est à l'initiative de la présentation du Professeur Calas à l'Assemblée des professeurs du Collège de France.

Le domaine des ressources minérales concerne de nombreux secteurs scientifiques : les processus de concentration des métaux au cours des temps géologiques (Sciences de la Terre), la durabilité de l'exploitation des ressources et les impacts environnementaux (Sciences de l'Environnement), le recyclage et la recherche de procédés économes (Sciences de l'ingénieur), les innovations technologiques associées à la transformation des matières premières minérales (Science des Matériaux), les relations avec les territoires et les grands équilibres internationaux, le décryptage de notre histoire (Sciences humaines et sociales). Ce panorama très large a comme fil directeur une question majeure à laquelle il faudra répondre dans un futur probablement proche: pour combien de temps dispose-t-on encore de ressources minérales accessibles en termes acceptables pour notre planète et ses habitants ?

L'équilibre géopolitique de notre planète a été fortement bouleversé depuis quelques décennies par l'importance croissante des ressources minérales dans le développement économique de nombreux pays émergents, ainsi que par les contraintes de l'absence de ressources fait peser sur de nombreux pays. La France dispose de sociétés minières de rang international, jouant chacune un rôle leader dans son créneau : Areva, Eramet ou Imerys. Par exemple, la Nouvelle-Calédonie sera dans quelques années le principal producteur mondial de nickel, ce qui conditionne son développement économique tout en posant des questions sur une gestion durable de cette ressource. D'autre part, la France dispose de nombreuses sociétés qui transforment ces matières premières (métaux, ciments, verres, céramiques...) ou les intègrent dans leurs procédés (cosmétiques, papeteries, industrie pharmaceutique ...). Les matières premières sont indispensables, en quantité mais aussi en qualité, au développement de ces groupes et ces liens illustrent l'importance des relations clients-fournisseurs. Dans un contexte de raréfaction progressive de la ressource ainsi que d'augmentation du prix des matières premières sur le long terme, le concept de durabilité s'est naturellement imposé, avec le développement du recyclage, du concept de "matières premières" secondaires, de la valorisation des sous-produits et déchets.

Comme les autres activités concernées par l'usage des ressources terrestres, la pratique minière se retrouve en première ligne face aux urgences environnementales. L'après-mine fait partie intégrante de l'exploitation des ressources, alors que la puissance publique doit souvent prendre en charge les conséquences de l'activité minière passée, notamment dans des pays à forte densité de population. Il émerge ainsi une "bonne pratique" qui résulte d'une réflexion pluridisciplinaire impliquant ici aussi physico-chimie, sciences de la terre et de l'environnement, sciences de la vie, sciences humaines et sociales.

Ce sont des constats et des questionnements dont l'enseignement à venir vise à animer une réflexion nourrie de la confrontation des différentes communautés et pour laquelle Collège de France constitue le cadre idéal en raison de son caractère pluridisciplinaire et transdisciplinaire.

La parole au professeur Georges Calas

Le domaine des ressources minérales tire son originalité de son ancrage dans l'histoire de l'humanité -ne parle-t-on pas d'âge de pierre ou de ruée vers l'or- ainsi que de son rôle de moteur de l'activité industrielle : sans matières premières minérales, il n'y aurait pas d'industrie. Pour les scientifiques, les gisements de matières premières sont aussi de précieux témoins de l'histoire de la Terre et du fonctionnement de notre planète, au travers de processus souvent exceptionnels de concentration des minéraux et des éléments chimiques.

Intégrant des géomatériaux aussi variés que le granite ou le diamant et concernant pratiquement tous les éléments chimiques, le domaine des ressources minérales est donc particulièrement vaste et pluridisciplinaire par essence. Certaines de ces ressources sont utilisées directement, comme les matériaux de construction ou les gemmes, ou sont intégrées dans des produits performants comme les médicaments ou les cosmétiques, mais aussi les papiers ou les matières plastiques. D'autres constituent des matières premières transformées sous forme de matériaux élaborés, comme les céramiques, les verres ou les ciments. Enfin, on trouve les minerais, dont on va extraire des métaux aussi communs que le fer ou aussi précieux que l'or ou le platine.

Le grand public n'entend généralement pas parler de ce domaine d'activité, peu visible car occulté par les produits manufacturés que les ressources minérales permettent d'élaborer. Des crises périodiques viennent parfois troubler ce calme : catastrophes minières, fermeture des mines (comme les mines de fer de Lorraine), tension sur les ressources critiques... Cependant, on constate une prise de conscience croissante de l'importance des ressources minérales dans l'évolution économique mondiale, avec un partage souvent très inégal des matières premières minérales entre les différents pays. Enfin, les impacts environnementaux ont une importance croissante, impliquant notamment des mines anciennes exploitées dans des pays ayant eu une longue histoire minière comme l'Europe. Ce volet représente désormais un domaine de recherche particulièrement actif.

Contrairement à d'autres ressources naturelles où elle est inéluctable sur le long terme, la notion d'épuisement des ressources minérales peut être discutée. Un épuisement des gisements actuels amènerait à terme l'exploitation de gisements moins riches et donc une augmentation progressive du coût des matières premières. Cependant, cette évolution est retardée grâce à la découverte de nouveaux gisements, et surtout par un recyclage efficace et une utilisation optimisée de la ressource disponible, tant au niveau de l'exploitation minière que du traitement des minerais et minéraux utiles. De nouveaux outils d'analyse physico-chimique des minéraux permettent d'approcher les nouveaux types de gisements, par exemple dans les sols tropicaux. Les nouvelles technologies de traitement des minerais amènent justement à envisager l'exploitation de ces gisements latéritiques, même si leur exploitation pose des défis accrus pour l'environnement

La leçon inaugurale permettra d'illustrer quelques aspects importants des ressources minérales :

- Les leçons de l'histoire : les matières premières minérales ont joué un rôle majeur dans le développement des civilisations, permettant des sauts technologiques majeurs comme les métallurgies du bronze ou du fer ou l'élaboration de verres et de céramiques de qualité. Ces étapes anciennes ont forgé des mythes encore présents et sont encore visibles dans notre monde actuel (monuments historiques, vitraux, carrières souterraines...).

- L'importance des matières premières, vues dans leur diversité : les minéraux industriels, les métaux se retrouvent dans notre univers quotidien. Ces ressources sont partagées de façon très inégale entre les pays, avec des situations de quasi-monopole pour des métaux précieux comme le platine dont l'Afrique du Sud possède l'essentiel des réserves.

- Qualité et variabilité : le cas exemplaire des minéraux industriels. Les minéraux industriels se retrouvent en permanence dans notre quotidien : papier, plastique, cosmétiques et produits pharmaceutiques, peintures... Des usages aussi variés demandent des propriétés bien particulières, et seuls les minéraux provenant de certains gisements peuvent être utilisés pour un usage précis. En couplant la maîtrise des procédés industriels avec la connaissance de la minéralogie fine de ces matériaux, il est possible d'améliorer la qualité de ces matériaux naturels et de leur donner ainsi une valeur ajoutée importante.

- Des témoins uniques de l'histoire de la Terre : les gisements métalliques. Les gisements de ressources minérales sont des témoins précieux de l'histoire géologique de la Terre, permettant de mieux comprendre son fonctionnement, notamment les transferts chimiques dans les magmas et les fluides hydrothermaux ou encore les processus d'altération à la surface de notre planète, montrant notamment l'importance de l'activité microbienne. L'exploration de nouveaux contextes géologiques permet de mettre à jour de nouvelles ressources minérales. Cependant, à la différence de nombreux autres secteurs industriels, il s'écoule un délai important, généralement 10-15 ans, pour passer de la prospection minière à l'obtention des métaux : les financements considérables nécessités par l'exploration minière se heurtent donc aux aléas de la conjoncture.

- L'impact environnemental des exploitations minières doit être maîtrisé pour limiter les transferts d'éléments traces métalliques dans les milieux physiques. L'étude de la spéciation des éléments chimiques est un outil de choix pour déterminer les processus impliqués dans les mécanismes de pollution. L'impact d'anciennes mines, souvent abandonnées depuis des décennies, a une importance grandissante dans des pays fortement peuplés comme la France. L'étude détaillée des minéraux et le suivi de la spéciation des contaminants montrent notamment l'importance de l'activité microbienne dans l'impact des contaminants et permettent de préciser la dangerosité de cette pollution liés aux activités minières.

- Les ressources minérales ne sont pas par essence durables. Mais elles sont souvent inégalement réparties entre les pays. Cependant, le milieu géologique constitue un réservoir quasi infini, limité par des considérations économiques, techniques (faibles concentrations, exploitation à grande profondeur), sociales ou environnementales (fonds marins). Le niveau de prise en compte des deux derniers volets est souvent contrasté entre les pays, ce qui amène des développements miniers inégaux. En raison des investissements importants nécessités par des investissements techniques de plus en plus onéreux, on constate un regroupement des opérateurs miniers et une intégration croissante des différentes compétences au sein de grands groupes. Cependant, la durabilité des ressources minérales passera inévitablement par un recyclage efficace, utilisant des ressources minérales secondaires. Actuellement implémenté surtout pour des matériaux à faibles prix volumiques (BTP, acier, aluminium...), le recyclage des matériaux utilisés dans les nouvelles technologies demandera en revanche des procédés adaptés pour optimiser le recyclage.



Présentation des travaux actuels du professeur Georges Calas

Une vision structurale des (géo)matériaux à l'échelle moléculaire fournit une base unique de compréhension de leurs propriétés physico-chimiques ainsi que de leurs conditions de formation, illustrant bien le rôle des minéraux, à la fois acteurs et spectateurs des processus géochimiques. En particulier, les milieux mal organisés - verres et liquides, mais aussi nanomatériaux et matériaux divisés- possèdent des propriétés originales qui leur confèrent une grande importance, à l'interface entre sciences de la Terre et de l'Environnement, Physique et Chimie. Une approche à l'échelle moléculaire permet d'avoir une vision précise des relations structure-propriétés dans ces milieux encore mal connus.

- Minéralogie environnementale.

L'importance croissante de ce domaine vient des challenges scientifiques posés par l'interface géosphère-biosphère-hydrosphère: formation et évolution des sols, gisements latéritiques, contamination par les éléments traces métalliques. Des études structurales à l'échelle moléculaire, resituées dans l'histoire des sols et des paysages, permettent de mettre en évidence l'importance des milieux mal organisés comme les nanophases minérales et organiques ou le contrôle structural de nombreuses réactions géochimiques. Le décryptage des mécanismes gouvernant à l'échelle moléculaire la distribution et de la mobilité des éléments traces métalliques permet de déterminer les paramètres clés qui contrôlent la mobilité de ces polluants. Des progrès considérables ont été obtenus grâce aux outils exceptionnels fournis par le rayonnement synchrotron ou les microscopies électroniques.

- La structure des minéraux : impuretés et défauts.

La connaissance de l'insertion des impuretés dans les cristaux amène une vision plus réaliste de la structure réelle des minéraux et permet de comprendre leur stabilité, les processus de concentration de certains éléments ou la mise en place de gisements économiques. An niveau fondamental, c'est la clé pour déterminer l'origine de la couleur des matériaux minéraux. Les dégâts d'irradiation constituent un autre départ à l'idéalité de la structure cristalline. Ils concernent les matériaux nucléaires mais permettent également de suivre la migration des radionucléides dans l'environnement, par exemple sur des analogues naturels de sites de stockage de déchets radioactifs en milieu géologique.

- Les verres.

Le couplage entre méthodes structurales et modélisation numérique a permis d'obtenir une description détaillée de la structure des verres multicomposants: environnements structuraux originaux, ordre structural à l'échelle nanométrique, organisation structurale de matériaux complexes comme les verres nucléaires... Ces environnements particuliers expliquent de nombreuses propriétés géochimiques lorsque les verres simulent des compositions magmatiques. Ils donnent également des propriétés originales aux matériaux vitreux d'intérêt technologique.



Cycle d'enseignement du Pr Georges Calas

Les ressources minérales, un enjeu majeur dans le contexte du développement durable

Les matières premières minérales ont accompagné le développement de l'humanité, de l'âge de pierre aux nouvelles technologies. L'évolution de nos connaissances sur les minerais et minéraux industriels, sur la formation de leurs gisements et sur les technologies utilisées pour leur mise en valeur, l'utilisation raisonnée des ressources et leur recyclage ont renouvelé la vision de ce secteur scientifique et économique. Regarder les ressources minérales dans un contexte de développement durable, c'est aussi gérer les aspects environnementaux, minimiser les impacts au travers d'une démarche scientifique et associer les acteurs socio-économiques. Si l'épuisement des ressources non énergétiques ne semble pas réellement inéluctable, la raréfaction sur le moyen terme des gisements les plus importants pourrait amener une évolution irréversible du cours des matières premières minérales et modifier durablement le paysage économique.

Cours les mardis à 15h30 suivi d'un séminaire à 16h30 animé par un invité du Pr Georges Calas qui apportera des éclairages complémentaires ou qui développera un aspect particulier des questions abordées :

- 27 janvier : ***Une approche multi-échelle des minéraux industriels***
- 03 février : ***La grande diversité des ressources minérales***
- 10 février : ***Les impacts environnementaux des activités extractives***
- 24 février : ***La formation des gisements minéraux : une vision à l'échelle moléculaire***
- 03 mars : ***Les minéraux des minerais : réalités visibles et invisibles***
- 10 mars : ***La durabilité des ressources minérales***
- 24 mars : ***Réhabilitation, recyclages, ressources secondaires : les nouveaux horizons***
- 31 mars : ***Les ressources minérales, un enjeu majeur dans le contexte du développement durable***

Programme complet : <http://www.college-de-france.fr/site/georges-calas/course-2014-2015.htm>

Colloque le jeudi 4 et le vendredi 5 juin 2015 :

Ressources minérales et développement durable : des mutations pour préparer l'avenir.

Ce colloque associera des personnalités du monde scientifique, économique et institutionnel provenant de différentes disciplines et de différents pays. Un premier volet concernera les relations clients fournisseurs, dans l'utilisation des ressources minérales par le secteur industriel. Le second volet traitera de la durabilité de la ressource, incluant les nouveaux horizons comme les fonds marins, mais aussi les ressources minérales secondaires ou le recyclage. Un troisième aspect exposera l'état des connaissances scientifiques dans le volet post exploration : exploitation des mines, traitement des minerais et impacts environnementaux, y compris avec des exposés venant de pays émergents (Afrique du Sud, Mexique). Le dernier sujet concernera le contexte humain, et une vision historique à la fois en France et dans la zone Pacifique. Une conférence de clôture concernera les défis industriels que représentent les ressources minérales dans le domaine de la fabrication des matériaux du futur.

Avec le soutien de TOTAL, l'ensemble de ce cycle d'enseignement sera disponible sur le site Internet du Collège de France (www.college-de-france.fr) en version française et en version anglaise.



Pr Georges CALAS

Biographie

Professeur à l'Institut de Minéralogie, physique des matériaux et cosmochimie de l'université Pierre et Marie Curie, membre de l'Institut Universitaire de France, **Georges Calas** est spécialiste des minéraux et des verres et des relations structure-propriétés dans les matériaux. Il connaît bien l'attente forte du public pour des analyses originales sur le thème des ressources minérales et énergétiques, dont le développement rapide suscite beaucoup d'interrogations.

Ancien élève de l'École normale supérieure de Saint-Cloud – Lyon, agrégé de sciences naturelles et docteur d'État en Minéralogie, Georges Calas a été chercheur au CNRS, coopérant technique au Mexique puis nommé comme professeur à l'université Paris Diderot-Paris VII en 1981, où il a dirigé l'UFR de Sciences physiques de la Terre. Il a été directeur adjoint du Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie de Paris/ Institut de Minéralogie et Physique des Milieux Condensés. Chercheur invité à Oxford et à Édimbourg, il a été Allan V. Cox Visiting Professor à Stanford. Il a été nommé en 2001 à l'université Pierre et Marie Curie. Depuis 2007, il est membre senior de l'Institut Universitaire de France.

Il a été chargé de mission au ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche et membre du conseil ministériel de la recherche au ministère de la Culture et de la Communication. Il a dirigé le Programme national de recherche sur les Sols et l'Érosion et le Groupement de recherche "Matériaux vitreux" du CNRS. Il est responsable du réseau "Matériaux oxydes-OXYMORE" de la Région Île-de-France. Il a été chairman de la commission Physics of Minerals de l'International Mineralogical Association, président de la Société française de Minéralogie et Cristallographie, vice-président de l'European Mineralogical Union et membre du Stanford Environmental Molecular Science Institute. Membre du Board of Fellows de la Society of Glass Technology, il a dirigé le Comité Technique Structure-Property Relationships in glasses à l'International Commission on Glass et a été impliqué dans de nombreuses activités éditoriales. Président du comité d'évaluation du Centre National de Recherche Technologique (CNRT) "Nickel et son environnement" de Nouméa, il est administrateur du Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

Distinctions

Georges Calas est membre de l'Academia Europaea, correspondant de la Société royale de Liège et Membre étranger de la Société royale du Canada. Il a obtenu les Prix Carrière, Ivan Peyches et Dolomieu de l'Académie des Sciences, le Prix Léon Bertrand de la Société géologique de France et la médaille Schlumberger de la Mineralogical Society. Il est Fellow de: Mineralogical Society of America, Geochemical Society, European Association for Geochemistry, Society of Glass Technology.