

## **Développement durable : environnement, énergie et société**

M. Georges CALAS, professeur  
à l'université Pierre et Marie Curie (minéralogie),  
professeur invité

ENSEIGNEMENT : LES RESSOURCES MINÉRALES, UN ENJEU MAJEUR  
DANS LE CONTEXTE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE <sup>a</sup>

### **Les ressources minérales, observatoire privilégié de notre planète et de notre environnement**

Domaine discret mais vital pour notre économie, 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, cosmétiques – sont des composantes de nos civilisations depuis leur origine. Récemment est apparu un questionnement sur l'aspect fini des réserves disponibles, en raison de crises médiatisées, notamment pour les métaux critiques (terres rares et lithium, par exemple). L'exploitation de ces ressources pose également des défis majeurs en termes de distribution des richesses ou d'impacts environnementaux, en raison notamment de l'augmentation considérable des quantités extraites (liée à la baisse de la teneur des minerais), questionnant l'évolution future de l'activité minière. Le domaine des ressources minérales constitue ainsi un champ de réflexion entre acceptabilité économique, écologique et sociétale, en même temps qu'il apporte des informations uniques sur le fonctionnement de notre planète et de notre environnement, aussi bien au travers des conditions de formation des gisements que du fonctionnement des écosystèmes impactés par l'activité minière. Autour d'un sujet centré initialement sur les sciences de la Terre et de l'environnement, se retrouvent de nombreuses disciplines : Sciences des matériaux (transformation des matières premières minérales, métaux rares, minéraux innovants, etc.), sciences de l'ingénieur (génie des procédés, coût énergétique, recyclage et re-usage), mais aussi des aspects socio-économiques,

---

a. Cours et séminaires sont disponibles en vidéo (versions française et anglaise) sur le site internet du Collège de France (<http://www.college-de-france.fr/site/georges-calas/course-2014-2015.htm> et <http://www.college-de-france.fr/site/georges-calas/seminar-2014-2015.htm>) [NdÉ].

politiques et historiques (relations avec les territoires et les peuples et rôle des matières premières dans le développement des civilisations).

Les ressources minérales ont marqué le développement de l'humanité, l'utilisation de matériaux bruts laissant progressivement la place à l'élaboration de matériaux transformés par des technologies qui ont connu des révolutions successives. Actuellement, les interrogations sur la durabilité de la ressource minérale, sur les impacts environnementaux et sociétaux de son exploitation ainsi que le partage des richesses minières contribuant à l'évolution des grands équilibres socio-économiques mondiaux font de ce domaine un champ d'observation unique de notre monde et de l'utilisation passée, présente et future des richesses dont nous disposons.

### **Organisation de l'enseignement**

Cet enseignement a présenté des visions transversales des ressources minérales, visant à connecter entre eux un certain nombre de domaines clés, en recoupant des connaissances complémentaires apportées par les différentes disciplines : relations structure-propriétés dans les minéraux, mécanismes de la concentration des substances utiles et de la formation des gisements, aspects spécifiques des impacts des activités minières, durabilité de la ressource, métaux critiques et stratégiques, etc.

La leçon inaugurale a été suivie de huit cours prolongés par un séminaire faisant appel à des intervenants extérieurs. L'activité de la chaire a été complétée par une conférence-événement « Minéraux exceptionnels, minéraux utiles » sur les collections minéralogiques parisiennes (qui constituent un ensemble unique au monde) et un colloque final présentant les visions complémentaires d'intervenants des milieux académiques, professionnels et institutionnels.

### **Leçon inaugurale. Les ressources minérales, bases de notre civilisation : des défis majeurs pour le XXI<sup>e</sup> siècle<sup>b</sup>**

Dans cette leçon inaugurale (prononcée le jeudi 22 janvier 2015), on s'est attaché à resituer les ressources minérales au sein des ressources naturelles et à brosser les « Leçons de l'histoire », qui ont vu l'appropriation progressive des roches et des minerais par l'humanité, mais qui illustrent également les impacts souvent oubliés de leur exploitation. L'importance des matières premières minérales dans notre quotidien, leur présence dans les usages les plus variés et leur rôle majeur dans les grands équilibres économiques mondiaux, illustrent la dynamique de ce domaine. Les deux grands volets de l'enseignement de la chaire ont été ensuite abordés : d'une part, une vision « naturaliste » et physico-chimique des ressources minérales, illustrée par l'héritage direct des propriétés des minéraux industriels à partir de leur structure cristalline, ainsi que par les témoignages uniques sur l'histoire de la Terre et le fonctionnement de notre planète apportés par l'étude des grands gisements métalliques, et, d'autre part, le volet « développement durable » des ressources minérales, illustré par les impacts environnementaux de l'activité minière, la criticité de la ressource et le recyclage.

---

b. La leçon inaugurale fait l'objet d'une publication sous forme imprimée (Collège de France/Fayard) et numérique : <http://books.openedition.org/cdf/156>. Elle est également disponible en audio et vidéo sur le site internet du Collège de France : <http://www.college-de-france.fr/site/georges-calas/inaugural-lecture-2015-01-22-18h00.htm> [NdÉ].

## Cours et séminaire

### *Cours 1. Une approche multi-échelle des minéraux industriels : les relations structure-propriétés*

27 janvier 2015

Nous avons souhaité commencer l'enseignement de la chaire par les minéraux industriels en raison de leur caractère souvent confidentiel et en tout cas faiblement médiatisé. Ils sont pourtant en permanence présents, directement ou indirectement, dans notre univers quotidien, mais souvent en faible quantité, ce qui ne permet pas de les remarquer. Nous présentons une vision polyédrale de la structure des minéraux, qui en permet une approche unifiée au travers d'une construction en « lego », rationalisant la compréhension de leurs propriétés. La morphologie des cristaux, les charges de surfaces et la coloration sont autant de propriétés liées à la structure des minéraux. Ce domaine, fortement renouvelé par les observations à l'échelle atomique ainsi que par la simulation numérique, constitue un champ de réflexion particulièrement fécond et actif. Les propriétés des minéraux naturels suscitent souvent la synthèse de nouveaux matériaux aux propriétés améliorées ou en quantités plus importantes.

### *Séminaire 1. Qualité de la ressource et exigence des usages : l'exemple des minéraux céramiques*

Alexandre Sevagen, Imerys Ceramic Centre, Limoges

Dans l'esprit de la chaire développement durable, il m'a semblé important d'associer à la réflexion scientifique les points de vue complémentaires du monde industriel et des milieux institutionnels. Ce premier séminaire a été consacré à l'importance des matières premières dans la fabrication des céramiques domestiques. Il a permis de souligner l'importance des aspects qualitatifs des matériaux élaborés, qui leur permettent de conserver leurs domaines applicatifs dans un contexte de concurrence croissante entre différents matériaux et surtout de trouver de nouveaux secteurs d'application. Les contraintes et le potentiel que présentent les matières premières influencent directement le développement technologique.

### *Cours 2. La grande diversité des ressources minérales*

3 février 2015

Ce cours a permis de présenter une vision d'ensemble des ressources minérales, notamment sur des sujets qui ne seront plus abordés par la suite, comme les matériaux rocheux ou les gemmes. La diversité des usages comme la diversité des gisements sont à l'origine d'importants contrastes dans la valeur des ressources minérales. Les exigences de qualité ainsi que l'adaptation des minéraux aux spécificités des usages et donc le choix de gisements adaptés ont été soulignés. Le cas des minerais métalliques a été brièvement abordé, le sujet étant repris dans d'autres cours et séminaires. Les deux exemples retenus – lithium et nickel – ont permis de montrer l'inégale répartition de la ressource, et la grande diversité des conditions de formation de leurs gisements.

### *Séminaire 2. L'industrie des métaux à l'ère d'une exploitation durable*

*Catherine Tissot-Colle, ERAMET et Alliance des minerais, minéraux et métaux (A3M)*

Ce séminaire a permis une vision synthétisant plusieurs points de vue : entreprise, organisation professionnelle, structures publiques de concertation et assemblée consultative de la République (CESE : conseil économique, social et environnemental). Cet exposé a montré comment seule une approche intégrée du développement durable permet la réussite d'un projet minier. Il a également montré la spécificité de la responsabilité sociétale des entreprises (RSE) dans le domaine minier, avec la naissance de nouvelles responsabilités et la modification importante des dialogues entre les différents partenaires.

### *Cours 3. Les impacts environnementaux des activités extractives*

*10 février 2015*

L'exploitation des ressources minérales induit des environnements artificialisés que l'on doit comprendre et maîtriser. De façon plus spécifique, on doit séparer les impacts directs et indirects. Les premiers sont les plus visibles, notamment à la suite d'événements catastrophiques causés par la rupture de digues de bassins à résidus, et au travers des impacts sur la santé humaine, avec les pneumoconioses (silicose, asbestose), maladies qui peuvent être discutées au travers de la structure et des propriétés des minéraux responsables. Les impacts à long terme proviennent d'activités passées qu'il convient de maîtriser dans les pays à forte histoire minière comme ceux d'Europe occidentale. Leurs effets se font cependant sentir au bout de quelques décennies, en relation avec la déstabilisation des minerais résiduels à la surface de la Terre. L'importance de la contamination ainsi que son impact sur la santé dépendent de la spéciation de l'élément.

### *Séminaire 3. Tirer les leçons du passé pour préparer l'avenir des activités minières*

*Pierre Toulhoat, INERIS*

Les activités minières se caractérisent par un héritage d'autant plus encombrant que l'on a maintenant oublié les bénéfices tirés de ce que l'on a pu extraire par le passé. L'exploitation minière génère des risques et impacts environnementaux plus ou moins visibles, souvent bien après les fermetures des sites miniers. Ce séminaire a permis de montrer l'importance d'une surveillance active des anciens sites miniers situés dans des environnements à forte densité humaine, au travers d'outils d'observation et de modèles numériques adaptés. L'expérience ainsi acquise permet d'imaginer une nouvelle génération de sites miniers, sous la forme de mines profondes, dont l'exploitation minimise les risques et impacts à court et long terme.

### *Cours 4. La formation des gisements minéraux : une vision à l'échelle moléculaire*

*24 février 2015*

La diversification des outils d'observation et les progrès spectaculaires des méthodes de simulation numérique ont amené une évolution majeure des concepts

minéralogiques et géochimiques. Ceci est particulièrement vrai pour comprendre l'insertion des impuretés dans les minéraux, mais aussi pour appréhender l'importance des nano-phases et de l'activité biologique dans les transferts géochimiques. Ce cours a pour but de montrer l'intérêt d'une vision à l'échelle moléculaire, basée sur l'organisation chimique à courte distance autour des éléments dans les minéraux, milieux de formation et aux interfaces minéral-solutions. Ces concepts unificateurs permettent de mieux comprendre les mécanismes de concentration des métaux. Cette approche montre l'importance de la spéciation dans la formation des gisements en milieu magmatique, hydrothermal ou dans les environnements de surface.

#### *Séminaire 4. L'exploration minière au XXI<sup>e</sup> siècle*

*Georges Beaudoin, département de géologie et de génie géologique, université Laval (Québec)*

L'exploration et l'exploitation des gisements métalliques connaît depuis plusieurs décennies une évolution importante liée à une baisse progressive des teneurs et à une localisation géographique dans des environnements difficiles. La découverte de nouveaux gisements se fait au travers d'une approche intégrant des mesures et modèles géologiques, géochimiques et géophysiques et utilisant des capteurs sophistiqués utilisés aussi bien en observation spatiale que dans les sondages profonds. La géomatique 3D permet une intégration spatiale de ces données, en reliant des paramètres physico-chimiques à l'histoire géologique.

#### *Cours 5. Minerais et minéraux : réalités visibles et invisibles*

*3 mars 2015*

La notion de ressource minérale dépasse largement la définition d'un minéral : une même espèce minérale aura une valeur très différente selon ses propriétés, alors qu'une ressource exploitable peut n'être révélée qu'au travers d'une analyse approfondie. Le premier cas est illustré par la couleur des gemmes dont le cours a permis d'analyser les différentes causes de coloration. Dans le second cas, les éléments métalliques trouvés en faible concentration dans les minerais posent des questions difficiles quant aux mécanismes de piégeage lors de la formation des minerais et à leur récupération économique. Ce domaine a fortement bénéficié des avancées récentes concernant l'analyse *in situ* des éléments « traces » dans les minéraux. Ici aussi, une approche polyédrale associant vision chimique et vision minéralogique est très fructueuse.

#### *Séminaire 5. La valorisation de la ressource minérale en Nouvelle-Calédonie*

*Christian Habault, SLN, Nouméa et CNRT « Nickel et son environnement »*

L'importance stratégique du nickel explique le grand intérêt que suscitent les gisements de classe mondiale de la Nouvelle-Calédonie. Le contexte environnemental néo-calédonien impose la prise en compte du développement durable aux différents stades d'exploration, exploitation et traitement du minerai, avec un phasage des opérations minières de l'ouverture à la fermeture. Un volet particulièrement important concerne la valorisation de la ressource par des procédés pyro- et

hydrométallurgiques, avec un comparatif en matière de bilan carbone. Enfin, la RSE et la formation des personnes sont une composante majeure de l'acceptabilité sociétale.

### *Cours 6. La durabilité des ressources minérales*

*10 mars 2015*

La demande en matières premières minérales continue de croître sous l'effet conjugué de la démographie et de l'influence des modes de vie, générant des échanges commerciaux croissants. La production est largement diversifiée en quantité comme en valeur, mais avec une diminution régulière de la qualité de la ressource, un renouvellement des acteurs, des impacts environnementaux et un partage inégal de la ressource selon les pays. Des initiatives de labellisation de bon usage (par exemple, l'initiative pour la transparence dans les industries extractives) tentent ainsi de lutter contre l'exploitation sauvage de ressources minières générant des situations sociales et environnementales inacceptables. Même si l'épuisement des ressources minérales n'est pas un paramètre qui peut être simplement défini, l'appauvrissement des minerais et les coûts de traitement peuvent impacter le volet économique. Alors que le prix du terme source ne pourra qu'augmenter dans la chaîne de transformation, la limitation ultime de l'utilisation des ressources minérales viendra d'autres paramètres : coût de l'énergie, accès à l'eau, contraintes environnementales, etc.

### *Séminaire 6. Projets miniers Outre-Mer : entre environnement, acceptation locale et économie*

*Anne Duthilleul, ministère des Outre-Mer*

Les activités minières sont une composante importante de l'économie ultramarine. Le séminaire a permis d'analyser trois projets miniers en Outre-mer : les usines de Goro et Koniambo en Nouvelle-Calédonie, et la régulation de l'orpaillage en Guyane, ainsi que les activités d'exploration pétrolière *offshore* au large de la Guyane. Le développement durable de tels projets de valorisation des ressources minières dépend du respect de l'environnement, de l'acceptation locale et bien sûr de l'économie des projets.

### *Cours 7. Les nouveaux horizons : réhabilitation, recyclage, matières premières secondaires*

*24 mars 2015*

La réhabilitation d'un site minier se pose avec acuité dans le cas des mines métalliques ; elle a pour but d'éviter une contamination de l'environnement, à court ou moyen terme, notamment au travers des drainages miniers acides qui se développent sur d'anciens gisements sulfurés. La gestion des impacts miniers doit prendre en compte la spéciation des éléments contaminants, de façon à en limiter les impacts. Ce paramètre intervient dans le choix des technologies de (bio)remédiation. Un autre volet du développement durable concerne l'importance grandissante du recyclage et du re-usage, qui amènent au concept de « matières premières secondaires », avec de nouvelles pratiques économiques associées au fait

qu'ils ne sont plus considérés comme des déchets. Cette évolution amène à l'idée vertueuse : « Primary metal production fills the gap between the availability of secondary material and total demand<sup>1</sup>. »

*Séminaire 7. L'extraction des métaux à travers les temps : perception sociétale et impacts environnementaux passés et actuels*

*Pierre Fluck, Centre de recherche sur les économies, les sociétés, les arts et les techniques (CRESAT), Université de Haute-Alsace*

Depuis les mines antiques jusqu'à la connaissance des « pouvoirs » des pierres au temps des humanistes, les ressources minérales ont exercé un grand attrait sur l'humanité. L'archéologie minière permet de décrypter les paysages créés par l'industrie extractive. Jointe à l'étude des documents anciens et aux mesures environnementales sur les anciens sites miniers, il est désormais possible de répondre à de nombreux questionnements concernant les impacts humains et environnementaux.

*Cours 8. Les métaux critiques*

*31 mars 2015*

Le niveau de criticité d'une ressource reflète à la fois le risque d'approvisionnement et l'importance de la ressource. Bien que les métaux critiques ne soient pas les plus rares dans la croûte terrestre, les processus de concentration géochimiques et minéralogiques sont moins efficaces que pour d'autres éléments comme l'argent, l'or ou le mercure, mais contrôlent les environnements géologiques où ils se trouvent. Trois exemples sont présentés : les phosphates, le lithium et les terres rares. Ils se caractérisent par des besoins croissants, par la concentration de la production dans un nombre limité de pays et par un recyclage inexistant ou encore balbutiant. Ils constituent ainsi un sujet de réflexion sur la durabilité des ressources minérales.

*Séminaire 8. Ressources minérales ; origine des gisements, développement durable*

*Nicholas Arndt, Institut des sciences de la Terre, université de Grenoble*

Ce séminaire a d'abord présenté un état de l'art sur les conditions de formation des gisements magmatiques : perturbations des processus magmatiques à l'origine des gisements de classe mondiale de chrome, platinoïdes et vanadium du Bushveld, et conditions de formation des gisements de Norilsk, les plus riches gisements sulfurés (Ni, Cu, platinoïdes) existant. La deuxième partie concernait les défis de l'exploitation des ressources minières dans une société décarbonée, les énergies renouvelables demandant une quantité importante de métaux stratégiques. Le développement d'une production minière diminue l'empreinte carbone des métaux, satisfait une demande économique et sociale et sécurise les approvisionnements : le *green mining* voit actuellement le jour en Europe.

---

1. International Council on Mining & Metals,(2006) in J. Atherton, « Declaration by the Metals Industry on Recycling Principles », *Int. J. Life Cycle Assessment*, 12, 59-60 (2007).

## AUTRES ENSEIGNEMENTS

**Conférence : « Minéraux exceptionnels, minéraux utiles »**

J'ai souhaité animer une manifestation pour présenter et analyser « en direct » un ensemble de minéraux exceptionnels issus des grandes collections parisiennes de minéralogie. Jean-Claude Boulliard (directeur de la collection de minéralogie de l'université Pierre-et-Marie-Curie), François Farges (professeur au Muséum national d'histoire naturelle) et Didier Nectoux (conservateur du musée de minéralogie de Mines ParisTech) ont ainsi pu présenter des minéraux remarquables. Ces minéraux ont été choisis pour leur grand intérêt historique, culturel et scientifique, mais aussi technologique, permettant une réflexion sur l'utilisation des ressources minérales.

**Semaine académique du développement durable**

Dans le cadre de la semaine du développement durable de l'Académie de Paris, j'ai donné le mercredi 1<sup>er</sup> avril une conférence sur « Les ressources minérales : diversité, durabilité et acceptabilité environnementale » à l'amphithéâtre Marguerite de Navarre. Cette conférence a été introduite par M. l'Administrateur. Elle a rassemblé 208 lycéens et 11 professeurs avec plusieurs invités.

**Colloque. Ressources minérales et développement durable : des mutations pour préparer l'avenir <sup>c</sup>**

Colloque international partiellement en langue anglaise, 4 et 5 juin 2015.

Le colloque a été organisé en quatre thématiques qui venaient ainsi compléter les enseignements de la chaire : (i) Relations clients-fournisseurs. L'utilisation des ressources minérales ; (ii) Les ressources minérales sont-elles durables ? (iii) *Consciously Exploiting Mineral Resources while Mastering Environmental Impacts* (session en langue anglaise) ; (iv) Le contexte humain et l'analyse historique. Introduite par une personnalité du domaine, clôturée par une table ronde, chaque thématique a permis de faire intervenir aussi bien des acteurs majeurs du secteur économique que des universitaires et des cadres de grandes organisations nationales et européennes. Le colloque, centré sur les mutations majeures de l'ensemble du domaine, a ainsi permis une confrontation originale entre des communautés qui n'ont pas souvent l'occasion de se rencontrer. Il est prévu une publication partielle de ce colloque dans la revue *Elements*.

**Programme**

Introduction : « Ressources minérales et développement durable : des mutations pour préparer l'avenir », Georges Calas, Collège de France).

Conférence d'Ouverture : « Les Matières premières : la politique européenne », Flor Diaz Pulido (European Commission, Bruxelles).

---

c. Les enregistrements vidéo du colloque sont disponibles sur le site Internet du Collège de France : <http://www.college-de-france.fr/site/georges-calas/symposium-2014-2015.htm> [NdÉ].

**Première partie : Relations clients-fournisseurs. L'utilisation des ressources minérales**

« Introduction », Clément Sanchez (Collège de France).

« Analyse de la criticité des métaux rares dans les applications industrielles », Jean François Minster (Total).

« Comment satisfaire les besoins en matières premières critiques ? L'exemple des Terres rares », Alain Rollat (Solvay Rare Earth Systems).

« Des ressources minérales durables pour un vitrage performant », Denis Petit-Maire (Saint-Gobain Glass).

Table Ronde animée par Clément Sanchez (Collège de France).

**Deuxième partie : Les ressources minérales sont-elles durables ?**

« Introduction », Christian Polak (AREVA Mines).

« Métaux critiques et mine responsable », Frances Wall (Camborne School of Mines, Royaume-Uni).

« Interactions ressources minérales – énergie dans un contexte de transition énergétique », Olivier Vidal (CNRS/INSU, Isterre, université Grenoble Alpes).

« État des connaissances sur les ressources minérales des fonds océaniques », Yves Fouquet (IFREMER).

« Économie circulaire : les nouvelles ressources. Challenges scientifiques, technologiques et sociétaux », Patrick Landais (BRGM).

« Ingénierie des matériaux minéraux et durabilité de la ressource », Frédéric Villieras, (université de Lorraine).

« La durabilité des ressources minérales pour les ciments et bétons », Laurent Izoret, (Association technique des industries des liants hydrauliques).

Table ronde animée par Christian Polak (AREVA Mines).

**Troisième partie : Consciously exploiting mineral resources while mastering environmental impacts (Exploiter de façon raisonnée les ressources minérales, en maîtriser les impacts environnementaux), session en langue anglaise**

« Introduction », John N. Ludden (British Geological Survey, Royaume-Uni).

« The long-term Mexican experience on mining: lessons of the past for managing the future », Raul Cruz Rios (Servicio Geológico Mexicano, Mexique).

« Mineral beneficiation and recovery in the 21st Century: Challenges, opportunities and social impact », Johan PR De Villiers (University of Pretoria, Afrique du Sud).

« The long-term legacy of post-mining activities: The key to limiting the spread of contamination », Michael F. Hochella Jr. (Virginia Tech, États-Unis).

« The environmental legacy of gold, mercury, and asbestos mining in California, USA: Evaluation of the long-term impacts and how they can be mitigated », Gordon E. Brown Jr. (Stanford University, États-Unis).

Table ronde animée par John N. Ludden (British Geological Survey, Royaume-Uni).

**Quatrième partie : Le contexte humain et l'analyse historique**

« Introduction », Élisabeth Vergès (Ministère de l'Éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche).

« Des mines du roi Salomon (1568) au "Préalable minier" de l'Accord de Nouméa (1997) : un « rééquilibrage » historique », Serge Tcherkezoff (CREDO Marseille et ANU Canberra, Australie).

« Le géologue des ressources, entre observation et imagination », Michel Jebrak (Université du Québec, Canada).

« Le géologue du futur, chef d'orchestre de l'industrie minière », Jean-Marc Montel (Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy).

« Matériaux et développement durable : les leçons de l'Histoire », Isabelle Pallot-Frossard (Centre de recherche et de restauration des Musées de France).

Conférence de clôture : « Matières premières, enjeu industriel : défis et innovations », Didier Roux (Saint Gobain).

« Conclusions », Georges Calas (Collège de France).

## RECHERCHES ACTUELLES

Mes recherches actuelles portent sur l'évolution des déchets liés à l'activité minière, stériles miniers et résidus de traitement des anciennes mines d'uranium du Massif central mais aussi des mines d'uranium actuellement exploitées au Niger. Un autre sujet concerne les gisements de métaux rares associés aux latérites, notamment les concentrations en scandium d'Australie orientale. Un autre domaine d'activité concerne les relations structure-propriétés dans les verres, verres de stockage de déchets nucléaires, notamment en relation avec leur vieillissement et leur altération, ou encore l'origine de la coloration des verres par des éléments de transition. Un thème abordé récemment concerne les matériaux du patrimoine. Il s'agit d'utiliser la couleur pour mieux connaître les conditions d'élaboration des vitraux du Moyen Âge (Sainte-Chapelle et cathédrale de Reims) ou l'origine de minéraux historiques (bijoux néolithiques de la région de Carnac).

## PUBLICATIONS

### Sélection de quelques articles récents

BALAN E., CALAS G. et BISH D.L., « Kaolin-Group Minerals: From Hydrogen-Bonded Layers to Environmental Recorders », *Elements*, vol. 10, n° 3, 2014, 183-188, DOI : 10.2113/gselements.10.3.183.

CALAS G., GALOISY L., CORMIER L., FERLAT G. et LELONG G., « The Structural Properties of Cations in Nuclear Glasses », *Procedia Materials Science*, vol. 7, 2014, 23-31, DOI : 10.1016/j.mspro.2014.10.005.

DELAYE J.-M., PEUGET S., CALAS G. et GALOISY L., « Comparative effects of thermal quenching and ballistic collisions in SiO<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O glass », *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms*, vol. 326, 2014, 256-259, DOI : 10.1016/j.nimb.2013.10.061.

DÉJEANT A., BOURVA L., SIA R., GALOISY L., CALAS G., PHROMMAVANH V. et DESCOSTES M., « Field analyses of 238U and 226Ra in two uranium mill tailings piles from Niger using portable HPGc detector », *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 137, 2014, 105-112, DOI : 10.1016/j.jenvrad.2014.06.012.

HUNAUT M., ROBERT J.-L., NEWVILLE M., GALOISY L. et CALAS G., « Spectroscopic properties of five-coordinated Co<sup>2+</sup> in phosphates », *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 117, 2014, 406-412, DOI : 10.1016/j.saa.2013.08.021.

HUNAUT M., CALAS G., GALOISY L., LELONG G. et NEWVILLE M., « Local Ordering Around Tetrahedral Co<sup>2+</sup> in Silicate Glasses », *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 97, 2014, 60-62, DOI : 10.1111/jace.12709.

CALAS G., « Comment on “Effect of TiO<sub>2</sub> content on the crystallization and the color of (ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>)-doped Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> glasses” by M. Chavoutier, D. Caurant, O. Majerus, R. Boulesteix, P. Loiseau, C. Jousseume, E. Brunet and E. Lecomte [J. Non-Cryst. Solids 384 (2013) 15] », *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 408, 2015, 152-153, DOI : 10.1016/j.jnoncrysol.2014.07.010.

CORMIER L., DARGAUD O., CALAS G., JOUSSEAUME C., PAPIN S., TRCERA N. et COGNIGNI A., « Zr environment and nucleation role in aluminosilicate glasses », *Materials Chemistry and Physics*, vol. 152, 2015, 41-47, DOI : 10.1016/j.matchemphys.2014.12.008.

CHASSÉ M., LELONG G., VAN NIJNATTEN P., SCHOofs I., DE WOLF J., GALOISY L. et CALAS G., « Optical Absorption Microspectroscopy ( $\mu$ -OAS) Based on Schwarzschild-Type Cassegrain Optics », *Applied Spectroscopy*, vol. 69, n° 4, 2015, 457-463, DOI : 10.1366/14-07628.

BOEKHOUT F., GERARD M., KANZARI A., MICHEL A., DEJEANT A., GALOISY L., CALAS G. et DESCOSTES M., « Uranium migration and retention during weathering of a granitic waste rock pile », *Applied Geochemistry*, vol. 58, 2015, 123-135, DOI : 10.1016/j.apgeochem.2015.02.012.

HUNAUT M., BAUCHAU F., LOISEL C., HÉROLD M., GALOISY L., NEWVILLE M. et CALAS G., « Spectroscopic Investigation of the Coloration and Fabrication Conditions of Medieval Blue Glasses », *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 99, n° 1, 2016, 89-97, DOI : 10.1111/jace.13783.

CALAS G., McMILLAN P.F. et BERNIER-LATMANI R., « Environmental Mineralogy: New Challenges, New Materials », *Elements*, vol. 11, n° 4, 2015, 247-252, DOI : 10.2113/gselements.11.4.247.

## Autres publications

CALAS G., « A Big Family », *Elements*, vol. 10, n° 6, 2014, 403-403.

CALAS G., *Les ressources minérales, enjeu majeur du développement durable*, Paris, Collège de France / Fayard, coll. « Leçons inaugurales du Collège de France », 2015 [en ligne : Paris, Collège de France , coll. « Leçons inaugurales du Collège de France », <http://books.openedition.org/cdf/156>, à paraître].

CALAS G., GALOISY L. ET CORMIER L., « The color of glass », dans Richet P. (éd.), *Encyclopedia of Glass Science, Technology, History and Culture*, American Ceramic Society.

## AUTRES ACTIVITÉS

### Conférences invitées

*Keynote lecture*, Linking optical and structural properties of glasses, GeoBerlin, 2015, Berlin.

Les minéraux et ressources en terres rares et métaux rares. Colloque « Terres rares et métaux rares : Enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle ? » *Fondation Écologie d'Avenir*, Institut de France (2014).

Colored glasses: the eye's pleasure and much more, *2014 Annual Meeting, Society of Glass Technology*, Durham (2014).

Cristallographie et environnement, *Année internationale de la cristallographie*, Paris, 2014.

Les ressources minérales : diversité, durabilité et acceptabilité environnementale, *Semaine du Développement Durable*, Académie de Paris (conférence inaugurale), 2015.

Trapping Processes of Uranium at Low Temperature. *AGU-CGU-GAC-MAC 2015 Joint Assembly*, Montréal (2015).

### **Responsabilités nationales et internationales**

Administrateur du BRGM.

Responsable du Domaine d'intérêt majeur « Matériaux Oxydes – Réseau OXYMore », région Île-de-France.

Président du comité d'évaluation du centre national de recherche technologique (CNRT), « Nickel et son environnement », Nouméa.

Membre du Board of Fellows de la Society of Glass Technology et de l'International Advisory Board, International Conferences on the Structure of Non-Crystalline Materials.

Éditeur principal de la revue *Elements* et éditeur scientifique de la revue *Terra Nova*.