



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



Société Géologique de France  
*Des géologues au service de la société*



The  
Geological  
Society

*-serving science & profession*



# La Géologie au service de l'homme

Juin 2015

# Pourquoi faut-il parler de géologie?

**La géologie représente l'étude structurale de la Terre ainsi que son histoire. Cela sous-entend la mise à disposition des ressources nécessaires aux Européens et à leur Industrie, la fourniture d'un large éventail de services essentiels ; elle nous aide aussi à comprendre comment vivre de manière durable sur notre planète, grâce à nos compétences techniques, au système éducatif et à la recherche.**



Image de la Terre prise par la mission Apollo 17. NASA

La Géologie (parfois mentionnée sous l'appellation plus large de « Sciences de la Terre » ou « Géosciences ») étudie la structure de notre planète et les processus qui en ont modelé la forme, tout au long de son histoire – et qui continuent encore aujourd'hui. Elle est impliquée dans la fourniture de la majorité des ressources nécessaires aux Européens et à leur Industrie, incluant l'énergie, les ressources minérales, l'eau et les denrées alimentaires. Un large éventail d'activités vitales dépend de la géologie, incluant la gestion des déchets que nous produisons ; les travaux de génie civil indispensables à la construction d'immeubles, de routes, de tunnels etc.; ainsi que la résolution d'un grand nombre de problèmes environnementaux comprenant la contamination des sols par les substances industrielles. Le travail des géologues dans la compréhension de l'origine des désastres et des risques naturels est essentiel, à la fois, pour déclencher des alertes et réduire leurs effets.

La garantie d'une eau potable, propre et disponible ainsi que la disponibilité de différents services liés à la conservation des écosystèmes dépendent de la compréhension, à la fois, de la géologie souterraine et de ses multiples interactions avec les processus superficiels. La garantie, dans le futur, de

l'approvisionnement de l'Europe en ressources énergétiques est lié grandement au savoir-faire géologique, appliqué à une foule de contextes, depuis la phase d'extraction des ressources jusqu'aux énergies renouvelables et à l'utilisation des terrains superficiels pour stocker le dioxyde de carbone et les déchets nucléaires.

L'évidence de l'interaction existant entre les changements environnementaux et l'évolution de la vie au cours de centaines de millions d'années, donne aux géologues une perspective crédible pour ce qui concerne aujourd'hui les changements d'ordre anthropique liés à la combustion d'hydrocarbures fossiles et à l'intensité de notre impact sur l'environnement. Les géologues joueront encore un rôle capital en réduisant l'émission des oxydes de carbone produite par la combustion des hydrocarbures fossiles, en les confinant là d'où ils viennent – sous terre. Juste au moment où nous commençons à comprendre plus clairement l'impact de notre activité sur notre planète, les ressources se font plus rares, tandis que la population croît. Alors que nous essayons de vivre de façon plus écologique et équitable, les géologues sont en train de se faire une idée plus globale de l'utilisation des ressources, de la production de déchets et sous-produits et de la complexité de nos interactions avec le sous-terrain, la surface, la mer, l'air et les êtres vivants, qui ensemble, constituent le système terrestre.

La prise en compte et la disponibilité de toutes ces ressources et services dépendent de géologues très compétents et bien formés, que ce soit au niveau académique ou dans l'industrie, en développant des connaissances approfondies en Géosciences, tout au long de leur cursus scolaire et universitaire. L'Europe possède un excellent outil de recherche en géologie, élément fondamental pour comprendre les processus terrestres et faire face aux futurs défis environnementaux. Un investissement durable en Géosciences, au niveau compétences et recherche, alimentera la croissance économique et permettra à l'Europe de jouer un rôle de leader en affrontant les défis mondiaux.

# Géologie et Economie

**La Géologie joue un rôle essentiel dans nombre de secteurs de l'Economie. Croissance économique et développement durable associés au bien-être social vont exiger une disponibilité fiable des ressources minérales et énergétiques, la mise à disposition permanente d'eau potable et la production de ressources alimentaires, durable et sécurisée. Tout cela sera fonction d'investissements continus, axés sur le développement technologique, des infrastructures, de l'éducation et des compétences.**

Localiser et extraire les ressources géologiques interviennent directement sur le PIB européen, les revenus de taxes et la croissance économique. L'utilisation des matières premières pour les produits industriels et de consommation et leur développement, ainsi que des hydrocarbures fossiles pour l'énergie, conditionne notre prospérité et contribue énormément, et de plein droit, à l'économie. L'exploitation de pétrole, de gaz, de charbon, de pierres à bâtir et de minéraux industriels participe de façon significative au PIB des pays européens – pour le Royaume Uni, en 2011, un montant de 38 milliards de livres soit 12% du PIB, hors la partie Services – avec une contribution encore plus élevée pour les industries dépendantes de ces ressources. Le pétrole et le gaz de la Mer du Nord représentent une contribution importante à l'économie nationale de plusieurs pays européens et génèrent, chaque année, des milliards d'euros sous forme de taxes. Le marché de capitalisation des compagnies industrielles d'extraction, au niveau des Bourses européennes, en 2012, est supérieur à 2.3 trillions d'euros.

Une évaluation détaillée de la demande, de l'approvisionnement et des coûts (à la fois, au niveau financier et environnemental) de ces ressources est essentielle pour établir un programme économique réalisable et la prise de décisions. Les statistiques européennes et mondiales en ressources minérales, fournies par le British Geological Survey jouent un rôle important pour répondre à ce besoin. L'Europe a identifié la liste des matières premières minérales, critiques, dont l'approvisionnement peut créer un goulot d'étranglement, ralentissant la croissance économique. Par exemple, les Terres Rares font l'objet d'une demande croissante liée à leur utilisation dans des matériels de haute technologie tels que les écrans plasma, l'imagerie médicale et les technologies pauvres en carbone comme les turbines éoliennes et les véhicules hybrides.



Bourse de Francfort.

Notre futur est celui de ressources limitées et l'impact lié à leur extraction et utilisation est ressenti plus douloureusement. En augmentation globale, la population compte, avec raison, sur une plus grande prospérité et un accès plus facile et plus équitable aux ressources, accentuant la pression en particulier sur la connexion eau-énergie-nourriture. La gageure consistant à sécuriser et pérenniser l'approvisionnement en eau et en énergie est exacerbée par le changement climatique. Un renforcement des contraintes liées à cet approvisionnement aura des répercussions sensibles concernant à la fois les besoins domestiques et surtout les activités industrielles très gourmandes en eau et énergie comme la mine et le secteur de la construction.



Echantillon de la formation de fer rubanée de Krivog Rog, Ukraine.

Tous ces défis pourraient mettre en échec le statut quo économique. Mais ils représentent aussi des opportunités d'innovation pour soutenir, dans le futur, la stabilité et la croissance économiques. Grâce à un investissement durable en infrastructure, recherche et développement des compétences, et la création d'un environnement adéquat pour favoriser l'innovation, l'Europe peut acquérir un leadership mondial en hautes technologies et technologies de l'Environnement ainsi que dans leur domaine d'application. La gestion des déchets nucléaires et le processus de captage et de stockage du CO<sub>2</sub> devront être développés dans le monde puisque notre objectif est la décarbonation de notre système énergétique, offrant ainsi des opportunités pour le développement des technologies, des compétences et expertises en Europe, de telle manière, qu'in fine, elles puissent être exportées plus largement. Le niveau de développement des secteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur, en Europe, la place de façon idéale pour jouer un rôle de leader pour une économie basée sur la connaissance, sensu lato.



# L'énergie

**La nécessité d'une transition énergétique vers une économie pauvre en oxydes de carbone est urgente. Cependant, alors que nous entreprenons ce changement, nous continuerons à être dépendants d'hydrocarbures fossiles pour encore de nombreuses années. Les compétences en Géosciences sont essentielles, à chaque étape du cycle énergétique, depuis la localisation des ressources énergétiques, en passant par leur extraction saine et fiable, leur utilisation, et jusqu'à leur dépôt final ou le recyclage des déchets.**

En faisant face à ses besoins futurs en énergie, l'Europe affronte un triple défi : réduire de façon drastique les émissions de CO<sub>2</sub> pour éviter un changement climatique dangereux ; garantir la continuité et la sécurité de la ressource ; et disposer d'une énergie convenable pour l'industrie et les consommateurs.

## Les hydrocarbures fossiles

Les hydrocarbures fossiles vont continuer à représenter une part importante de l'éventail énergétique européen pour au moins les quelques dizaines d'années à venir. Certains pays ont engrangé d'énormes bénéfices à partir du pétrole et du gaz de la Mer du Nord, ces dernières dizaines d'années. Des ressources offshore significatives demeurent- le succès de leur extraction dépend de la continuité dans le développement de notre savoir-faire technologique pour comprendre et extraire. Nous commençons aussi à mieux comprendre et évaluer les ressources onshore d'hydrocarbures fossiles non conventionnels comme les gaz de schistes, le pétrole de schistes et le méthane de lits de charbon qui peuvent constituer une contribution significative à notre panel énergétique si nous choisissons de les exploiter. Les pays qui ne développent pas leurs propres ressources en combustible fossile, domestique, deviendront davantage dépendants du combustible importé, qui pourrait affecter, de façon défavorable, leur sécurité énergétique. Une grande partie de l'électricité européenne est encore produite par la combustion du charbon.



Stockage de déchets (radioactivité faible à moyenne) à Olkiluoto, Finlande. SKB, Suède

## Les gaz de schistes

Les hydrocarbures (pétrole et gaz) sont formés à partir de matière organique déposée, il y a des millions d'années dans les couches sédimentaires, matière qui fut alors soumise à des températures et pression élevées. Pour les réservoirs « conventionnels », le pétrole et le gaz ont migré de leur lieu d'origine pour être piégés au-dessous d'une couche de terrain imperméable. Lorsque c'est le gaz qui est retenu à l'intérieur de schistes imperméables et ne peut pas migrer, on ne peut pas l'extraire à partir des techniques de forage conventionnelles (et il est donc répertorié comme une ressource non conventionnelle).

Il est aujourd'hui possible d'extraire économiquement le gaz de schistes, en utilisant un forage horizontal et la fracturation hydraulique (fracking), pour laquelle l'eau, le sable et l'ajout de petites quantités de produits chimiques sont utilisés pour ouvrir les fractures dans le rocher, permettant au gaz de circuler plus librement. L'expertise géologique est vitale pour localiser les ressources en gaz de schistes, et pour évaluer et gérer les risques potentiels liés à leur extraction, tels que la sismicité induite ou la contamination de l'aquifère liée à un puits de construction défectueuse.

## Capture et Stockage du dioxyde de carbone (Séquestration ou CCS)

Puisque le rôle important joué par les hydrocarbures fossiles dans notre panel énergétique va continuer, au moins à moyen terme, une action urgente est nécessaire pour éviter un changement climatique dangereux, conséquence de leur combustion libérant le CO<sub>2</sub>. Le processus de séquestration a le pouvoir d'atteindre cet objectif, s'il est mis en œuvre à une échelle suffisante, par capture de ce CO<sub>2</sub> et par son piégeage souterrain, réalisés en toute sécurité.

Les géologues sont déjà à l'œuvre pour localiser et évaluer le développement potentiel de sites de stockage convenables. Les réservoirs de pétrole et de gaz de la Mer du Nord, approchant de leur fin d'exploitation, sont les premiers candidats en tant que sites de stockage du dioxyde de carbone, et cette capacité de stockage représente un surcroît de ressource valorisante en particulier pour le Royaume Uni et la Norvège, surtout si des infrastructures existantes peuvent être réutilisées. Les géologues seront aussi des hommes clef pour le suivi à long terme des réalisations de stockage de CO<sub>2</sub> et du contrôle de fuites éventuelles ainsi que des déformations affectant le sous-sol. Des recherches nouvelles et prometteuses sont actuellement en œuvre au niveau de nouveaux sites géologiques destinés au stockage du dioxyde de carbone.

# L'énergie

## Les autres sources d'énergie

Les énergies renouvelables sont destinées à jouer un rôle d'importance croissante, au sein de l'éventail énergétique, puisque nous nous orientons vers une économie sans oxydes de carbone.

La profonde compréhension de la géologie environnante et souterraine est importante pour la sélection de sites et la construction de nombreuses structures de génération d'énergie renouvelable ; en particulier des fermes avec éoliennes, des barrages et les sources d'énergie produites par la géothermie et les marées.

Nombre de matières premières requises pour les technologies liées aux énergies renouvelables, y compris les turbines éoliennes, les moteurs hybrides et les panneaux solaires, sont des matières premières, critiques, telles que les Terres Rares, tous éléments dépendant de la recherche géologique et de la compétence des géologues pour les localiser et les extraire en toute sécurité.

L'énergie nucléaire pourrait représenter une part importante du panel énergétique futur. Elle est conditionnée par la présence d'une source fiable d'uranium, extrait d'un minerai d'uranium, de façon économique – à nouveau, un processus dépendant d'une expertise géologique. Nous aurons, du point de vue sécurité, à garantir la gestion à long terme, des déchets nucléaires produits par nos centrales nucléaires, même si aucune nouvelle installation n'est construite. Dans la majorité des pays européens avec énergie nucléaire, la politique gouvernementale oblige à placer ces déchets dans un centre agréé du point de vue géologique.

## Sites géologiques de confinement des déchets nucléaires

Un site géologique de confinement nécessite l'isolation des déchets au sein d'une structure établie dans une formation lithologique convenable, typiquement entre 200 m et 1000 m de profondeur, pour s'assurer qu'aucune émanation radioactive ne puisse atteindre la surface. Il s'agit d'une approche multidisciplinaire, avec des déchets conditionnés, placés dans des tunnels creusés puis remblayés, plus la géosphère constituant une barrière additionnelle, pour garder, piégés, les radionucléides pendant des dizaines de milliers d'années. Des formations géologiques diverses peuvent convenir, comprenant le granite, les argiles et le sel. Identifier des sites convenables dépendra autant de la motivation et de la coopération manifestées par les communautés locales désirant accueillir un site de confinement que de critères géologiques.

Les géologues joueront un rôle capital dans la caractérisation des sites potentiels et dans la réalisation du confinement des déchets.

## Energie géothermique

Quelques pays européens disposent d'un excellent potentiel énergétique pour le développement de ressources géothermiques de haute enthalpie, à la fois pour la production d'électricité et comme source directe de chaleur. Même dans les régions où la température en profondeur est modérée, il y a une opportunité pour une utilisation plus large de puits thermiques et de pompes à chaleur géothermique, en utilisant des différences plus faibles de température, à faible profondeur. Des systèmes de chaleur, intégrés dans les programmes modernes de construction en utilisant une ressource souterraine de chaleur et de refroidissement, peut réduire les émissions de CO<sub>2</sub> jusqu'à un taux de 10%. Le développement de ces ressources requiert l'expertise des géologues pour localiser et tester la viabilité des possibilités géothermiques et pour comprendre les conditions du sous-sol avant de dessiner et construire les infrastructures nécessaires.



Parc éolien offshore de Thornton Bank, Belgique. Groupe Deme

# L'eau

**Bénéficier en permanence d'une eau potable d'excellente qualité est vital pour la santé et le bien-être humain. Les géologues contribuent à satisfaire ce besoin, en Europe et dans le monde, grâce à leur compréhension de la circulation des eaux et du comportement des aquifères et aussi par la caractérisation et la décontamination des eaux polluées.**

## Assurer la disponibilité de l'eau

L'eau potable, à la surface terrestre, existe comme le témoin d'un système plus large, recouvrant l'eau souterraine, les océans, l'eau atmosphérique et l'eau sous forme de glace.

Approximativement, 75% des européens dépendent de l'eau souterraine pour leur alimentation en eau potable. Il s'agit d'une ressource importante mais fragile que l'on doit gérer de façon soignée. La part restante est fournie par les eaux de surface, provenant des lacs et rivières, collectées dans des réservoirs.

Le niveau statique des eaux souterraines dépend de la pluviométrie locale, du taux d'infiltration (la facilité avec laquelle le sol est capable de l'absorber) et le volume du prélèvement (eau pompée pour utilisation). En certains endroits, l'eau souterraine est effectivement une source d'eau potable non renouvelable, liée au temps nécessaire pour recharger l'aquifère (son remplissage), avec une échelle de temps qui peut varier d'une saison à plusieurs millénaires.

### Qu'est-ce qu'une eau souterraine ?

L'eau souterraine est de l'eau infiltrée à partir de la surface du sol vers la profondeur et localisée sous le niveau statique, où elle imbibe les roches poreuses. Cette eau se situe dans la zone saturée. Elle circule dans le sous-sol (souvent très lentement), jusqu'à un point de décharge tel qu'une source, une rivière ou la mer.

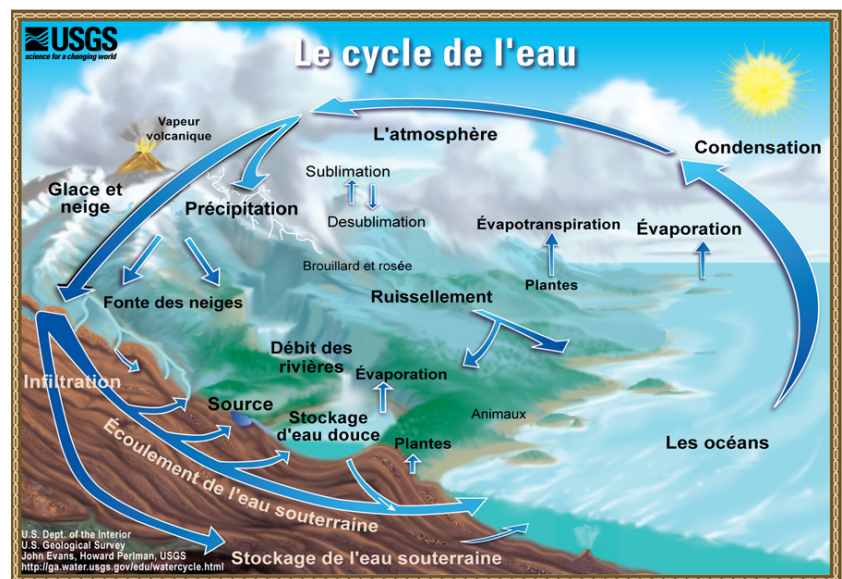
Les formations géologiques qui renferment de l'eau souterraine exploitable, sont appelés aquifères, et représentent une source importante d'eau potable. Cependant, l'eau d'un aquifère n'est pas toujours potable – elle peut être très salée. Un prélèvement très important d'eau souterraine peut causer une intrusion d'eau salée au sein des aquifères à eau douce. La porosité et la perméabilité d'une formation lithologique conditionne la quantité d'eau qui peut être stockée et sa capacité à circuler, et donc la qualité de la formation aquifère.

## La qualité de l'eau et le cycle de l'eau

L'eau peut être naturellement polluée mais le risque de pollution lié aux activités humaines est bien plus élevé. La plupart des pollutions sont la conséquence de contaminations diffuses comme l'utilisation de pesticides et d'engrais en zones cultivées. La pluie sur ces secteurs récupère les polluants à la surface du sol et les conduit jusqu'aux cours d'eau et aux aquifères situés en-dessous.

Il existe aussi de nombreuses sources locales de pollution telles que les fuites de produits chimiques sur les sites industriels, celles provenant des systèmes du tout à l'égout et des sites de décharge.

La pollution peut être très lente et durer pendant longtemps, conséquence de la lenteur de l'infiltration de l'eau souterraine, des temps de recharge et de migration. Réduire la pollution peut coûter cher, financièrement et en termes d'utilisation d'énergie. Pour minimiser les coûts d'un futur nettoyage et fournir une eau propre, il est vital de comprendre à la fois le comportement de l'eau souterraine et les cycles géochimiques des polluants potentiels.



Cycle de l'Eau. USGS



## La liaison Eau- énergie

Le secteur de l'énergie requiert de grands volumes d'eau pour beaucoup de ses processus fondamentaux. L'extraction des ressources, le transport de carburants, l'énergie de transformation et les centrales électriques représentent environ 35% de l'eau utilisée globalement. En 2050, la consommation d'eau estimée pour la production d'électricité, est supposée doubler. L'orientation actuelle tournée vers la diversification des sources d'énergie, y compris l'utilisation de carburants alternatifs, va exiger fréquemment des processus de plus en plus gourmands en eau. L'extraction du pétrole à partir de sables bitumineux requiert jusqu'à 20 fois plus d'eau que le forage conventionnel ; par exemple, on peut citer le cas des biocarburants qui peuvent nécessiter des milliers de fois plus d'eau que les hydrocarbures conventionnels, en raison d'une irrigation intensive.

En même temps, de l'énergie est nécessaire pour la production et la distribution d'une eau propre. Cela est incontournable, à chaque étape de la chaîne de distribution, y compris le pompage de l'eau souterraine, le traitement de l'eau de surface, le transport et le chauffage de l'eau domestique. L'énergie utilisée pour le traitement est supposée croître en tenant compte des techniques additionnelles de traitement et des mesures de purification, tout spécialement si le processus de désalinisation, grand absorbeur d'énergie, se développe en réponse à une disponibilité plus réduite d'eau douce. Les Compagnies de l'Eau, au Royaume Uni, par exemple, font état d'une augmentation de plus de 60% de la consommation électrique depuis 1990, due à un traitement optimisé et à l'augmentation des tarifs de connexion ; des estimations prudentes prédisent de nouvelles augmentations de l'ordre de 60% à 100%, pour les 15 années à venir, de façon à respecter les recommandations concernant la qualité de l'eau.

## L'impact du changement environnemental

Les effets du changement climatique, sur les eaux souterraines et de surface, qui varieront d'un pays à l'autre, ne sont pas faciles à prédire et vont interagir avec les autres contraintes affectant le cycle de l'eau. Nombre de pays européens ont constaté la baisse du niveau statique des aquifères, liée à la sécheresse survenue, ces dernières années, et les menaces concernant l'accès permanent à l'eau sont supposées croître. Mondialement, cette menace atteint déjà un seuil critique. De façon plus aiguë, les régimes de météo, erratiques, représentent un risque pour la recharge des aquifères et l'alimentation en eau. Des niveaux statiques trop bas associés à un phénomène de lente recharge, pourraient affecter sérieusement la disponibilité de l'eau dans le futur, même pour les pays de climat tempéré. On s'attend à ce que le changement climatique crée un effet multiplicateur et un climat extrême pourrait compromettre les activités économiques et les infrastructures nationales.

## Expertise géologique

La compréhension des conditions hydrogéologiques locales et environnementales est essentielle pour la gestion de l'approvisionnement en une eau de qualité. Les hydrogéologues et les autres représentants des Géosciences étudient et cartographient le sous-sol pour modéliser et comprendre la circulation de l'eau et pour quantifier et caractériser les ressources en eau. Un contrôle saisonnier et, sur le long terme, de l'eau souterraine, peut contribuer à la prédiction et la gestion des périodes de tarissement des aquifères, liées à une faible pluviométrie. Cette information peut alors être utilisée pour planifier une sécheresse stratégique, une inondation et un schéma d'approvisionnement en eau.



Système de traitement des eaux usées et barrage et centrale électrique à accumulation par pompage de Kölnbrein, Carinthie, Autriche.

# Ressources minérales

**L'industrie moderne, la technologie et les produits de consommation ont besoin d'un large éventail de minéraux, qu'ils soient abondants ou rares. Leur extraction et leur commerce constituent une part importante de l'économie européenne et mondiale. Comme la population et la demande de ressources augmentent, des technologies d'innovation sont nécessaires pour localiser et extraire les minéraux et pour les utiliser de façon plus efficace.**

## Ressources

L'industrie minérale fournit un large éventail de ressources. Celles-ci incluent les matériaux comme le rocher naturel et les agrégats de roches concassées ainsi que les sables ; les phosphates et la potasse pour les engrais ; beaucoup de minéraux ayant des applications industrielles spécifiques tels le spath fluor (utilisé en optique) et la barytine (utilisée dans les boues de forage pour l'extraction de pétrole et de gaz); et les minéraux à partir desquels les métaux de toute sorte sont extraits.

Certaines ressources minérales sont relativement abondantes, et sont extraites et utilisées en grandes quantités, telles que les agrégats et quelques métaux incluant le cuivre, le nickel, l'aluminium et le fer. D'autres, bien qu'utilisées en quantités très inférieures, n'en sont pas moins insuffisantes pour satisfaire la demande globale. Cependant, dans le cas de quelques minéraux importants du point de vue économique ou stratégique, le risque demeure d'un approvisionnement insuffisant pour répondre à la demande à court et moyen terme, défaut dû à des facteurs économiques et politiques plutôt qu'à une pénurie d'ordre géologique. Ces minéraux sont répertoriés comme matières premières, critiques. Il n'existe pas de liste définitivement arrêtée mais l'Europe a identifié 14 ressources minérales critiques. Elles comprennent deux groupes d'éléments métalliques – les Terres rares et les métaux du groupe platine. On est également inquiet à propos de l'approvisionnement futur en phosphates et potasse, qui sont très abondamment utilisés dans les engrais.



## Les Terres rares

Les Terres rares représentent un groupe de dix-sept éléments métalliques : quinze lanthanides avec les nombres atomiques 57 à 71, et aussi l'Yttrium et le Scandium. Leur utilisation pour des applications de haute technologie comme les écrans plasma, les composants électroniques, l'imagerie médicale et les technologies pauvres en carbone incluant les turbines éoliennes et les véhicules hybrides, a conduit à une demande globale en augmentation de plus de 50%, ces dix dernières années, et supposée croître encore davantage aujourd'hui. En juin 2010, une étude effectuée par l'Union européenne inscrit l'ensemble des Terres rares sur sa liste des 14 ressources minérales, critiques. Actuellement, la Chine est globalement le plus grand producteur de Terres rares et la majorité des autres types de gisements conséquents sont localisés en dehors de l'Europe – principalement en Chine, la CEI (Russie, Kirghizistan et Kazakhstan), les États-Unis et l'Australie.

La « rareté géologique » des Terres rares ne doit pas poser de problème car leur flambée des prix ainsi que l'inquiétude concernant la garantie de leur approvisionnement ont conduit à d'importants travaux miniers en dehors de Chine. Cependant, les défis touchant les conditions techniques, financières, environnementales et juridiques qui doivent être surmontées font de l'installation de nouvelles mines de Terres rares, un processus long et coûteux. Cela pourrait conduire à une demande supérieure à l'offre pour les quelques années à venir et pourrait représenter un frein pour le développement et la diffusion de technologies pauvres en carbone, basées sur les Terres rares.

Mine d'Aitik, située à la périphérie de la ville de Gällivare, au Nord de la Suède. La plus importante mine de cuivre du pays et la mine à ciel ouvert la plus performante au monde. ©Boliden



# Ressources minérales

## Le secteur minier européen

Au dix-neuvième siècle, la croissance des principales économies nationales, européennes, reposait sur l'extraction et l'utilisation du charbon, des minerais métalliques et autres ressources minérales. L'Europe n'est plus le producteur dominant de la plupart des minéraux, mais sa richesse et diversité géologique indiquent que beaucoup de pays européens continuent à produire de façon significative et à exporter des matières spécifiques – par exemple, l'argent en Pologne et le titane en Norvège – ou encore des matériaux de construction et, à grande échelle, des minéraux industriels comme le sel.

Conséquence de l'augmentation du prix des matières premières et des nouvelles technologies d'extraction et de traitement, des gisements peu étendus et de valeur élevée qui, précédemment n'étaient pas économiquement exploitables, peuvent tenir lieu de réserves économiques. Un nombre de travaux miniers (minerais



Mine de perlite à Palhaza, au Nord de la Hongrie. Perlit-92 Kft

métallique) sont en train de commencer à produire pour cette raison : c'est le cas à Hemerdon, dans le Devon (UK), où le démarrage de l'activité minière concernant le tungstène est attendu pour 2014. Seules, de très faibles quantités de minéraux critiques, utilisées en Europe, sont produites à l'intérieur de l'Europe. La production de ressources minérales est souvent dominée par un ou deux pays (la République Démocratique du Congo dans le cas du cobalt, par exemple), et cela peut constituer un risque pour l'approvisionnement des pays européens.

Une recherche innovante étudiant l'ensemble des cycles de ressources disponibles pourrait conduire à l'extraction économique de métaux, à partir de déchets produits par les processus industriels, et à une nouvelle exploitation d'anciennes décharges minières pour récupérer des minéraux qui, initialement, n'avaient fait l'objet d'aucune exploitation. La manière de produire peut aussi être optimisée pour « fermer la boucle » grâce au recyclage et à une moindre dispersion des matériaux. L'efficacité énergétique et la diminution des impacts environnementaux dans l'utilisation des ressources, induisent aussi la recherche dans la même direction.

Les pays de bordure de la Mer du Nord satisfont une grande partie de leur besoin en sable et graviers par dragage de ces matériaux au fond de la mer. Des conditions marines plus profondes telles que celles prévalant à proximité d'émissions hydrothermales sont considérées, par certains, comme une source future potentielle et significative de métaux dont plusieurs sont identifiés comme des matériaux critiques.

## Nourrir une population croissante

Sans l'apport de la géologie, il n'y aurait pas d'agriculture. Les récoltes dépendent de la bonne qualité du sol (issu de l'altération des roches et aussi de la matière organique, de la présence d'eau et de gaz) en tant que milieu de croissance. Elles ont besoin aussi de nutriments géologiques. L'augmentation globale de la population est en train d'exercer une pression croissante sur les ressources alimentaires. L'approvisionnement en phosphates et potasse utilisés dans les engrais devient encore plus critique, au moment où la tension s'exacerbe entre le besoin pérenne de denrées alimentaires, d'énergie et d'eau, et la réalité d'un changement environnemental.

L'utilisation croissante et mondiale de quantités importantes d'engrais a conduit à une demande élevée et à des inquiétudes concernant l'approvisionnement futur, garanti, en phosphates et potasse. Quelques pays produisent la majorité des phosphates dont la Chine, le plus gros producteur. Un nombre de pays encore plus réduit sont producteurs de potasse. L'utilisation continue du phosphore (à la différence de la potasse) peut également avoir des effets dommageables sur l'environnement en raison des fuites de phosphates atteignant les rivières, générant le phénomène d'eutrophisation.



Agriculture dans la région de La Rioja en Espagne.

# Construire le futur

**Comprendre la nature des terrains, leurs conditions de surface et comment les constructions, les infrastructures et la population interagissent avec leur environnement géologique sont essentiels pour garantir la sécurité publique et le bien-être, rendant utile l'argent dépensé et répondant au défi de vivre en présence d'un changement environnemental.**

## L'environnement de la construction

La géologie du génie civil implique l'application des principes et spécialités propres aux disciplines du génie civil, dans un large éventail de contextes. Le secteur de la construction emploie un grand nombre de géologues du génie civil, à côté d'hydrogéologues, de géologues environnementaux et autres spécialistes, pour comprendre les conditions de terrain et le cadre géologique plus large, et comment cela va interagir avec un environnement construit, comprenant des bâtiments, des routes, des chemins de fer, des barrages, des tunnels, des canalisations et des câbles. Une partie fondamentale de ce travail consiste à anticiper les effets du changement environnemental, à décontaminer le sol, surtout s'il a servi antérieurement pour une activité industrielle et à évaluer puis gérer les effets des risques géologiques de toutes sortes, depuis les séismes jusqu'aux glissements de terrain et au gonflement et à la contraction des argiles.

Sous-estimer l'importance d'un tel travail pour les grands projets

ou négliger de l'accomplir proprement, est souvent la cause d'un surcoût sensible et le non-respect de délais. Identifier et gérer effectivement les problèmes liés au terrain est aussi essentiel pour garantir la santé et la sécurité publique, la qualité de notre environnement construit et l'aptitude à créer. Des standards professionnels de haut niveau doivent être définis et maintenus par les géologues, les ingénieurs et autres personnes concernées, au bénéfice du public. Le risque géotechnique peut affecter tous les partenaires du bâtiment, y compris le client (qui peut être le gouvernement en dernier ressort, spécialement pour des projets nationaux d'infrastructures), l'architecte, le constructeur et la population en général.

Les géologues auront aussi un rôle essentiel dans le développement d'infrastructures tandis que nous nous dirigeons vers une économie pauvre en carbone, par exemple, en implantant les barrages à marée motrice et les turbines éoliennes, et en effectuant une analyse du risque sismique dans le cadre d'installation de nouvelles centrales nucléaires.

## Une géologie européenne, unique

Les Bureaux géologiques nationaux, en Europe, ont toujours joué un rôle capital dans la recherche des ressources naturelles. Comme nous affinons cette recherche de façon encore plus sophistiquée, cherchons à comprendre et à gérer l'impact des risques naturels et à faire des propositions concurrentielles en études du sous-sol. L'innovation en cartographiant et modélisant la géosphère est incontournable. Parce que la géologie n'est pas limitée aux frontières nationales, il est aussi essentiel que les données puissent être partagées effectivement entre pays.

Le portail *"OneGeology Europe"* représente le travail de 20 Bureaux géologiques nationaux, Eurogeosurveys (l'organisation chapeautant les Bureaux nationaux) et d'autres partenaires. Pour la première fois, il rend les données cartographiques, propres aux Bureaux nationaux, utilisables et facilement disponibles pour chacun d'eux grâce à une plateforme unique et multi langues, accessible avec une licence unique. Une banque de données géologiques avec établissement d'une carte au 1/1,000,000, à destination des pays participants, est déjà achevée. Son extension et une amélioration de la résolution, à l'échelle 1/250,000, est en cours pour les secteurs où existent des données convenables.

*"OneGeology Europe"* constitue une contribution majeure, à la fois, à l'initiative d'une géologie globale, unique, et à INSPIRE, une infrastructure commune européenne concernant les données spatiales environnementales. Ce sera un outil pratique et très précieux pour les scientifiques de l'Enseignement et de l'Industrie, et aussi pour les bâtisseurs de projets et les preneurs de décision en sensibilisant les politiques à la nécessité de ressources futures, à l'occurrence de la sécheresse et des inondations, à l'urbanisation et au développement de grands projets d'infrastructures.



## La géologie urbaine – construction des villes de demain

Une part toujours plus importante de la population mondiale vit dans des agglomérations de plus en plus grandes et complexes. La tâche des géologues, en gérant les multiples possibilités communes (et souvent concurrentes) d'utilisation du sol et du sous-sol, sera particulièrement importante en zones urbaines si les villes du futur doivent être pérennes.



Site de la construction du RER de Londres, station Tottenham Court Road.

Le besoin d'espace est une donnée prioritaire et le sous-sol est intensément utilisé pour le transport, la construction et la fourniture de ressources et services. L'alimentation en eau et en énergie ainsi que la décharge des ordures constituent des défis particuliers dans les grandes villes de même que les occasions d'innovation. L'environnement construit doit être conçu pour optimiser l'efficacité énergétique et gérer (utiliser) l'effet « des îlots à chaleur urbaine ». Les projets à grande échelle concernant les infrastructures de transport souterrain tels que le Crossrail à Londres ou le Oosterweelverbinding à Anvers, font appel à une technologie avancée et dépendent de la compétence d'un panel varié d'ingénieurs et de scientifiques comprenant des géologues de génie civil et des hydrogéologues. Comme on commence à mieux comprendre la complexité des terrains et que de nouvelles technologies sont développées, dans certains cas, il serait possible d'extraire des ressources géologiques incluant des minéraux, de l'eau et de l'énergie, au sein d'environnements urbains.

Une approche de type « services en faveur des écosystèmes » pour la définition d'une politique environnementale (voir page 13) est de plus en plus la règle en Europe. Il est important de se souvenir que les écosystèmes, l'environnement et les interactions entre les différents domaines des systèmes naturels et humains ne sont pas limités aux seules aires rurales. Le sous-sol et les aspects abiotiques des écosystèmes sont fondamentaux, à la fois en zones rurales et urbaines.

## Utilisation du sous-sol

Les géologues sont impliqués dans un large éventail d'activités liées à l'utilisation du sous-sol, la plupart se trouvant mentionnées dans ce document. Ces utilisations incluent l'extraction de ressources énergétiques, en eau et minérales ; l'utilisation de la porosité des roches pour créer un réservoir par injection de CO<sub>2</sub> ou de gaz naturel dans les formations géologiques ; le confinement de déchets radioactifs, le dépôt d'ordures et autres décharges ; les fondations et soubassements des immeubles ; et l'adaptation optimale des infrastructures de transport, du réseau de câbles et de canalisations.

Comme nous nous tournons vers la géosphère pour la fourniture d'une variété toujours plus abondante de services, ceux-ci nécessitent la réalisation d'un planning soigneux. N'importe quel volume de terrain peut être requis pour remplir plusieurs fonctions différentes, consécutivement ou concurrentement. Une concurrence pour l'utilisation de l'espace souterrain peut exister parfois entre fonctions qui ne sont pas aisément compatibles. Les géologues peuvent être conseillers dans ces cas-là mais les décisions sur l'utilisation de la géosphère sont in fine du ressort politique et économique.



Le train Glacier Express sur le Viaduc de Landwasser en Suisse.



# Un environnement sain

**Des siècles de développement industriel et urbain en Europe ont laissé leur marque sur notre sol, notre eau et notre atmosphère. La pollution peut s'étendre et interagir avec la géosphère, la biosphère, l'atmosphère et l'hydrosphère, toutes étant interconnectées.**

## La qualité du sol et du terrain

Les sols de vastes régions à travers l'Europe ont été contaminés, conséquence des activités industrielles du passé. Pour rendre ces sites pollués aptes à un nouveau développement, des études et des traitements sont nécessaires. Les propriétaires de ces sites peuvent les nettoyer volontairement, à la faveur d'un système planifié d'interventions pendant la phase de développement ou, pour les sites les plus contaminés, à la suite de prescriptions légales.

Pour organiser des plans de décontamination, il est important de considérer comment ils pourraient être affectés par un changement climatique futur. Des techniques de nettoyage sur place telles que les barrières perméables réactives et le capsulage du contaminant pourraient se révéler inefficaces car une érosion croissante, une sécheresse et une inondation peuvent libérer des polluants dans l'environnement.

Un sol et une eau d'excellente qualité sont essentiels pour garantir un approvisionnement en denrées alimentaires, à la fois sécuritaire et durable. Le sol agit aussi comme un puissant entonnoir absorbant le carbone atmosphérique et enregistre tout changement environnemental passé et actuel, étant par là un outil incontournable pour comprendre un tel changement. La protection et l'amélioration de la qualité de nos cours d'eau, océans et eau potable dépendent de la bonne compréhension du comportement et de l'interaction existant entre l'eau, le sol, le rocher et l'atmosphère en surface et de la géologie pour le souterrain.

## Dépollution de l'eau souterraine

La géologie intervient en tant que première discipline dans le contrôle de la qualité des eaux de surface et souterraines. La dépollution de l'eau souterraine contaminée requiert différents processus, incluant les barrières physiques, la dépollution chimique et – d'habitude la plus économique – l'atténuation naturelle. Les solutions d'ingénierie dépendent de la connaissance acquise du comportement du terrain et de sa tenue et l'utilisation de matériaux tels que les adsorbants et les oxydants requiert la compréhension de la géochimie des roches et de l'eau. Les méthodes d'atténuation naturelle reposent sur des processus naturels intervenant dans les domaines physique, chimique et biologique pour « casser » les contaminants tandis qu'ils circulent en souterrain. Leur utilisation dépend d'une claire compréhension de la chimie et de l'hydrogéologie du sol.

En plus de l'amélioration en efficacité du travail de décontamination, une excellente compréhension de la géologie souterraine peut épargner beaucoup de temps et d'argent, consacrés à de l'ingénierie et de la mise en œuvre.



La décharge de produits chimiques de Wakefield, au Royaume Uni.

## Notre héritage industriel et son impact sur la qualité du sol

Le nettoyage et la gestion des sols contaminés peut être complexe et coûteux, en particulier lorsqu'on hérite d'une décharge non réglementée de déchets et de matériaux contaminés. Une recherche géochimique poussée met en relief la complexité d'une contamination industrielle du sol mais peut aussi aider à mieux développer des techniques pour la solutionner. La décontamination à long terme et durable des sols européens contaminés exige de l'innovation dans les approches d'ingénierie et de gestion ainsi que la mise en sécurité des contaminants, renforcées par une compréhension géologique, saine.

# Mise en valeur et protection de notre environnement

**Une politique environnementale et de gestion, basée sur une approche des services offerts par les milieux naturels, dépend de la prise en compte d'une vue réellement holistique des écosystèmes et de l'environnement. L'importance de la géologie et de la géosphère pour la protection environnementale et la disponibilité des services issus des écosystèmes est trop souvent négligée - en réalité, elles modèlent nos paysages, interagissent avec l'atmosphère et l'hydrosphère, et sont le garant de la vie.**

## Les services du Géosystème

Le large éventail de services fournis par les écosystèmes – moyens avec lesquelles nous retirons de l'environnement un bénéfice sociétal et économique – dépend de la géosphère, et peut être dénommé collectivement sous le terme « services du géosystème ». Ils comprennent :

- Les services d'approvisionnement vital tels que la fourniture d'énergie, d'eau, de ressources minérales et les terrains sur ou dans lesquels nous avons construit nos infrastructures urbaines et de transport,
- Les services réglementés tels que le volume potentiel de stockage de déchets radioactifs et de CO<sub>2</sub> ainsi que l'effet tampon naturel du CO<sub>2</sub> atmosphérique, confiné dans les sols,
- Les services de soutien qui renforcent les écosystèmes, incluant les cycles géochimiques, et l'effet de la géomorphologie sur la dispersion de l'habitat et la disparité intracommunautaire, paramètres essentiels pour la biodiversité,

- Le plaisir et la satisfaction générés par les paysages et d'autres services liés à l'agriculture.

Le riche héritage géologique européen et sa diversité représentent une ressource précieuse en termes d'éducation, de tourisme et de qualité de vie. Il est capital que les sites géologiques importants soient protégés de façon convenable, par exemple par l'intermédiaire de plans nationaux avec mention des sites de valeur scientifique.

Les fonctions de tampon exercées par la géosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère ont une énorme valeur environnementale et commencent seulement à être évaluées proprement. La capacité des systèmes naturels à supporter un changement dépend en partie des quantités critiques de polluants qu'ils peuvent absorber. Ces systèmes vont certainement subir un stress croissant puisque les niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique ainsi que les températures augmentent globalement et que les océans s'acidifient en raison du CO<sub>2</sub> dissous. Les récifs de corail qui hébergent un grand nombre d'espèces dans certains écosystèmes parmi les plus riches du monde en diversité biologique et qui fournissent les services tels que le tourisme, la pêche et une protection littorale, sont particulièrement vulnérables aux changements de la chimie océanique et sont déjà en voie de détérioration rapide.

## Conservation de la mer et du littoral

Les projets tels que celui d'identifier les sites marins européens ont le pouvoir de fournir une protection précieuse pour les zones marines et littorales. Mais ils ont tendance à privilégier la vie sauvage – les aspects biotiques des écosystèmes – en négligeant les éléments abiotiques et les interactions des terrains de surface et du sous-sol avec la mer et la vie qu'elle maintient. Une approche holistique des écosystèmes marins et des processus environnementaux est nécessaire si l'on veut protéger efficacement les espèces vulnérables et les environnements.

Les sédiments sont transportés vers et hors des estuaires par les marées et les courants, apportant avec eux des polluants et interagissant avec la chimie de l'eau de mer. La pêche peut causer des dommages aux fonds marins, perturbant les écosystèmes. La construction de digues côtières peut modifier la répartition des courants et la distribution associée des dépôts de sédiments. Le cycle de substances nutritives en tant que service de support, dépend des interactions géochimiques entre les divers composants du système marin et fluvial – le rocher, les sédiments superficiels, la flore et la faune, la tranche d'eau et l'atmosphère.



Le Mont Saint-Michel- appartenant au Patrimoine Mondial, UNESCO- et sa baie en Normandie, France, site classé pour son patrimoine culturel associé à la beauté du cadre naturel.

# Risques naturels

**Les risques naturels tels que les séismes, les éruptions volcaniques, les glissements de terrain et les tsunamis peuvent occasionner des dégâts dévastateurs pour les populations, les économies et les paysages. Comprendre et faire connaître réellement les risques, leurs effets et les possibilités de les réduire est essentiel pour atténuer la souffrance humaine.**

## Les séismes

Les séismes représentent un risque majeur, en particulier dans les régions sud et est de l'Europe, étant responsables de morts, de dommages pour les infrastructures et les économies et de cassure sociétale. L'impact des séismes ne dépend pas seulement de leur amplitude et profondeur mais de facteurs humains – la densité de la population, le niveau de développement, l'état de préparation de la population et leur éducation. Beaucoup plus de décès furent causés, à Haïti, par le séisme de 2010, par exemple, que par d'autres séismes d'intensité nettement supérieure. Un séisme important près d'une mégapole dans un pays développé, pourrait être encore plus dévastateur. Les moyens les plus efficaces pour réduire l'impact humain causé par les séismes sont de réduire la pauvreté (en particulier dans les pays en voie de développement) ; d'améliorer le niveau d'éducation, l'état de préparation civile et la qualité des infrastructures ; et de concevoir et construire de nouveaux bâtiments capables de résister à leurs effets. Il est possible de rendre résistants au séisme des bâtiments anciens mais cela est beaucoup plus coûteux.

Le résultat du calcul de la probabilité de l'occurrence d'un séisme dans une région donnée pendant une période de temps définie, est devenu beaucoup plus fiable, ces dernières dizaines d'années, grâce à la recherche en géologie. Cependant, il n'est pas actuellement possible de prédire exactement le moment et le lieu de séismes et la plupart des géologues ne pensent pas que cela pourra devenir une perspective réalisable. Identifier sur le terrain les risques des séismes et modéliser leurs effets sont essentiels pour améliorer l'état de préparation et de résistance face aux risques. Le Projet SHARE (Seismic Hazard Harmonization en Europe) a établi des données standards communes, et défini des méthodologies ; il soutiendra le développement de standards communs concernant la réduction des effets des séismes.



Le Président Barack Obama, lors de sa visite à l'Aquila, ville sinistrée par un tremblement de terre, en Italie.

## Autres risques naturels

Comme les volcans, les tsunamis peuvent générer des dommages importants loin de leurs lieux d'origine. Les enregistrements géologiques indiquent que de larges portions des côtes européennes ont souffert, dans un passé récent, de tsunamis et que cela pourrait se produire à nouveau.

D'autres risques naturels moins dramatiques comprennent le gonflement et le retrait des formations argileuses, phénomènes qui peuvent endommager des bâtiments et des infrastructures, la formation de dolines par la dissolution de roches particulièrement solubles, et la présence de terrains sans tenue et compressibles. Bien que ces « risques tranquilles » causent rarement des morts d'homme, leur impact économique peut être important.



Effondrement karstique dans le secteur de Birzai, en Lituanie.

Il existe aussi des risques naturels de type anthropogénique, générés par les activités humaines tels que la pollution du sol, l'extraction de minéraux et les décharges. Les activités humaines peuvent aussi exacerber les effets des risques naturels, une inondation par exemple, y compris une inondation souterraine. Les géologues ont un rôle essentiel à jouer en conseillant l'installation de digues contre l'inondation, en tenant compte et en gérant les défenses naturelles et en s'assurant que l'occupation des sols est effectivement planifiée.



# Risques naturels

## Glissements de terrain

Les glissements de terrain sont communs à beaucoup de pays européens. Ils sont la conséquence d'une grande diversité de causes, incluant une pluie diluvienne, l'érosion, d'autres risques naturels comme les séismes, les activités humaines telles que les travaux miniers, la déforestation et un changement d'occupation des sols. Les glissements de terrain peuvent affecter de façon significative les infrastructures et les économies, et quelques-uns provoquent aussi la mort d'hommes. Ils sont responsables d'environ 15% des tsunamis dans le monde.

Le changement climatique est supposé générer à l'avenir un nombre croissant de glissements de terrain car les épisodes climatiques extrêmes deviendront plus communs et il y a lieu de croire que cela est déjà le cas aujourd'hui.

## Volcans

On estime qu'une population globale de l'ordre de 500 millions de personnes vit suffisamment près de volcans actifs pour être en danger lorsqu'ils rentrent en éruption. De nombreuses villes se sont développées sur les terrains fertiles rencontrés souvent à proximité des volcans. Les volcans actifs qui pourraient affecter des populations très importantes comprennent le Mont Vésuve près de Naples et le Popocatepetl près de la ville de Mexico.

On devrait tout mettre en œuvre pour minimiser le nombre de



Le Mont Vésuve dominant Naples, en Italie.

victimes causées par les éruptions volcaniques mais, en réalité, ce nombre est resté relativement modeste (environ 300 000 dans le monde, au cours des deux derniers siècles), comparé à celui de certains autres risques naturels. Néanmoins, les pertes du point de vue économique, les dommages occasionnés aux infrastructures et le bouleversement sociétal peuvent être considérables.

Les volcans peuvent aussi avoir des répercussions sur des populations localisées bien plus loin, là où le risque perçu est faible puisque la source de risque est « hors de vue et hors de pensée ». Le monde moderne dans son ensemble est vulnérable aux événements volcaniques de forte puissance, rendant l'étude de leurs périodes de recrudescence et des impacts environnementaux, un thème de recherche active en volcanologie.

## Cendres volcaniques

L'éruption en 2010 du volcan Eyjafjallajökull en Islande a provoqué une interruption de l'aviation civile dans les régions nord et ouest de l'Europe. Les autorités gouvernementales et aéronautiques se devaient de protéger les populations mais également de répondre aux demandes de reprises des vols dès que possible, étant donné l'impact économique de cet arrêt. Les géologues ont travaillé avec les météorologues pour comprendre l'interaction entre le nuage de cendres et les systèmes météo et ont fourni information et conseil pour faciliter une prise de décision vis-à-vis de l'aviation civile.

D'autres volcans, en Islande et ailleurs, ont le pouvoir de causer de semblables dégâts, potentiellement à une plus grande échelle. La plupart des liaisons aériennes, spécialement celles passant au-dessus des régions polaires, ont été repérées par rapport à la distribution des volcans actifs et ceux entrés en sommeil, récemment – cette information est précieuse, par exemple, dans l'évaluation du risque potentiel créé par les volcans sur la côte ouest de l'Amérique du Nord et de l'Alaska, en particulier au niveau de la chaîne des Aléoutiennes.

Les volcans comme le Mont St Hélène et le Vésuve sont entourés par des réseaux de géophones positionnés sur le sol, qui devraient déclencher une alerte précoce face à une possible éruption. Mais globalement, nombre de volcans ne font pas l'objet de contrôle et peuvent entrer en éruption avec un minimum de signaux avertisseurs voire aucun signal.

# Changement climatique

**Les données géologiques connues sont assez abondantes pour fournir la preuve évidente des processus qui ont présidé aux changements climatiques, dans le passé. Cette évidence est très utile pour comprendre comment le climat pourrait changer dans le futur et estimer les impacts liés aux émissions de carbone de nature anthropogénique.**

## Evidence géologique des changements climatiques du passé

Sur une période de plus de 200 millions d'années, les informations enregistrées concernant la nature des sédiments et les fossiles nous indiquent que la terre a subi beaucoup de fluctuations climatiques, lors d'épisodes allant du plus chaud à beaucoup plus froid qu'aujourd'hui. Les changements climatiques, cycliques, ont été la conséquence de la variation de facteurs tels que l'orbite terrestre et l'activité solaire. Des changements rapides du climat ont également été associés à l'augmentation du carbone atmosphérique, par exemple, lorsque la température maximale a été atteinte à la limite Paléocène-Eocène (PETM), il y a 55 millions d'années.

L'évidence d'un changement climatique, dans le passé, est conservée dans un large éventail de sites ou de formations géologiques, incluant les sédiments marins et lacustres, les couches de glace, les stalagmites et les anneaux des troncs d'arbres fossiles. Des progrès acquis en observation de terrain, en technologie de laboratoire et en modélisation numérique autorisent les géologues à expliquer, avec plus de certitude, comment et pourquoi le climat a changé dans le passé. Cette perspective de connaissance du passé fournit un contexte essentiel pour estimer les probables changements attendus dans le futur.

## Leçons pour le futur

A partir des données des changements climatiques du passé, les



Fonte de glace à la périphérie de la calotte glaciaire, au Groenland. ©NASA

géologues sont de plus en plus convaincus que le CO<sub>2</sub> est un acteur principal du changement climatique.

L'évidence confirme le principe de base qui veut qu'un ajout, à l'atmosphère, d'une grande quantité de gaz à effet de serre tel que le CO<sub>2</sub>, provoque une augmentation de la température. Cela indique aussi que l'on a toutes les chances de constater une élévation du niveau de la mer, une augmentation de l'acidité des océans, la diminution de l'oxygène contenu dans l'eau de mer et des changements importants dans les régimes météo.

La vie sur terre a subsisté aux changements climatiques extrêmes du passé mais ceux-ci sont responsables d'extinctions de masse d'espèces ainsi que de leur redistribution. L'impact causé par de faibles augmentations de la température globale, de l'ordre de quelques degrés, sur la société humaine, moderne, va être considérable.

Les causes exactes des cas de changement climatique dans le passé, font l'objet d'une recherche continue mais il est probable que le déclic pour de tels événements ait été d'origine géologique – par exemple, une période d'activité volcanique intense. L'accroissement rapide du CO<sub>2</sub> atmosphérique, pendant les quelques dernières dizaines d'années, ne peut pas être attribué à un facteur géologique quelconque. Plus de 500 milliards de tonnes de carbone (c'est à dire plus de 1 850 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>) ont été ajoutées dans l'atmosphère, conséquence des activités humaines depuis 1750, dont 65% produits par la combustion des hydrocarbures fossiles ; et en tenant compte de l'augmentation du taux actuel, le CO<sub>2</sub> atmosphérique pourrait atteindre 600 parties par million (ppm), à la fin de ce siècle – un chiffre qui apparaît comme n'ayant pas été une valeur caractéristique pendant 24 millions d'années.

Les géologues ont un rôle vital à jouer, pas simplement par l'aide apportée, facilitant notre compréhension du changement climatique mais par une réduction des émissions futures de CO<sub>2</sub> (grâce au développement du captage et du stockage du dioxyde de carbone et aux sources d'énergie alternatives, par exemple) et par une adaptation aux conséquences du futur changement climatique.

# L'Anthropocène

**L'activité humaine a affecté, de façon dramatique, les paysages, le sous-sol et les processus propres au système terrestre, conduisant à des changements significatifs, atmosphériques, chimiques, physiques et biologiques. Ces changements sont-ils suffisamment importants et permanents pour caractériser le commencement d'une nouvelle époque géologique – l'Anthropocène ?**

## Le changement anthropogénique

La Commission Internationale de Stratigraphie (ICS) qui définit l'échelle internationale des Temps Géologiques et établit l'ensemble des standards pour classer une période géologique, est actuellement en train d'étudier s'il y a lieu de définir une nouvelle époque géologique – « l'époque humaine » ou Anthropocène – pour reconnaître l'étendue de l'impact humain qui a affecté notre planète. Certains stratigraphes suggèrent de fixer le point de départ de l'Anthropocène au moment de la Révolution Industrielle, conscients que les effets de 1 850 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> que l'espèce humaine a libéré dans l'atmosphère depuis ce moment, pourraient perdurer pendant une échelle de temps géologique appréciable. D'autres soutiennent que les impacts humains durables affectant la planète peuvent remonter à une date antérieure, au moment du développement de l'agriculture et des sédentarisation, il y a environ 8000 ans. Quel que soit le moment retenu, le développement de la société humaine a été responsable d'une transformation des sols et des paysages par des processus nombreux et divers incluant l'agriculture, la construction, la canalisation de rivières, la déforestation, le développement urbain et l'industrialisation.

Nous avons aussi laissé une marque de contamination et de pollution de l'air, potentiellement indélébile, à la surface terrestre, dans les océans et les cours d'eau et aussi dans le milieu souterrain. Les dits marqueurs incluent la pollution par le plomb, qui est produit principalement par les fours de fusion, le traitement des métaux et par incinération ; aujourd'hui et en remontant aussi loin que les temps gréco-romains, on constate que le plomb a atteint des régions isolées telles que la calotte glaciaire polaire et les tourbières. De même que la combustion très répandue des hydrocarbures fossiles, la Révolution Industrielle a apporté des niveaux considérables de pollution, issus de l'activité minière, de la fusion des métaux et de la propagation des polluants comme conséquences d'autres activités industrielles et de l'installation de décharges.

Nombre de chercheurs ont aujourd'hui entrepris un travail d'évaluation de l'étendue, du type, de l'échelle et de l'amplitude des influences anthropogéniques sur l'utilisation des sols et les



Pollution de l'air : fumée s'élevant d'une centrale tour existante.

processus propres au système terrestre, leurs impacts et leur signification géologique. La combinaison de ces changements et leurs impacts sur la chimie, la biologie et la géomorphologie des terrains de surface et souterrains, des milieux océaniques et atmosphériques, pourraient aider à délimiter la période Anthropocène et sa signature environnementale, unique.

## Cela pose-t-il un problème ?

Quelle que soit la conclusion de l'ICS à propos de l'Anthropocène pour reconnaître ou non la réalité d'une nouvelle époque géologique, le terme est rapidement devenu courant, à la fois au sein de la communauté géologique et au-delà. Il exprime l'idée que les impacts cumulatifs et combinés de l'espèce humaine sur notre planète, incluant mais non limité au changement climatique, pourraient perdurer durant des échelles de temps géologiques et ce constat pourrait servir à établir un programme de réponse à ces changements.

## Le futur

Avec une population globale supposée atteindre 9 milliards d'individus en 2045, la pression concernant les ressources, l'environnement et le souterrain peu profond, augmentera, particulièrement en zones bâties où le souterrain est en forte demande et l'infrastructure complexe. Vivre à l'Anthropocène présentera pour les sociétés et les gouvernements dans le monde des défis sans précédent.



# La communication en géologie : échelles de temps, incertitude et risque

Les questions géologiques sont de plus en plus apparentes dans la vie quotidienne des Européens – et les géologues professionnels doivent apprendre à communiquer et mieux faire partager leurs connaissances scientifiques pour permettre à une population plus importante de s'informer et participer à des débats.

Depuis les décisions à prendre au sujet de l'extraction sur terre du gaz de schiste et d'autres hydrocarbures jusqu'à l'injection d'eau pour obtenir de l'énergie géothermique et le stockage profond du carbone et des déchets nucléaires, la géologie est à la base de questions clé auxquelles les communautés en Europe devront répondre car nous cherchons à satisfaire, pour le futur, nos besoins de ressources, créons la croissance économique, analysons les risques techniques et leurs impacts sociaux, et nous nous assurons que la réglementation et le contrôle de la technologie protègent la santé et le bien-être public et environnemental. Face aux défis scientifiques et techniques, complexes, que la mise en œuvre de ces technologies va apporter, la géologie souterraine reste un domaine inconnu pour la plupart des gens. Si le public se lance dans un débat pour s'informer et prendre une décision concernant de telles technologies, il est important pour les géologues professionnels de développer des stratégies efficaces pour communiquer réellement ce qu'ils connaissent et font et pour comprendre ce que le public sait et ce qui le préoccupe.

Certaines idées et connaissances, fondées et bien établies, que les géologues utilisent (et peuvent estimer comme normales) sont étrangères à la plupart des gens. Les géologues pourraient considérer que leur appréciation de périodes de temps

immensément longues, leur procure un privilège pour comprendre la planète et les processus qui l'ont façonnée. Mais cela peut aussi les conduire à adopter une échelle de temps très différente de celle utilisée par les non-géologues. Pour la plupart des gens, 100 000 ans, par exemple, peut apparaître comme une période très longue et apte au maintien des déchets radioactifs grâce à la géosphère – mais pour un géologue, c'est une période très courte. Cela pourrait diminuer plutôt que conforter la confiance publique et la crédibilité dans l'expertise et le jugement professionnel des géologues conseillant le choix des sites de confinement des déchets radioactifs à moins qu'ils ne travaillent intensément pour comprendre l'optique des gens et leurs préoccupations.

Parallèlement, les géologues sont souvent à l'aise, en traitant avec l'incertitude et les données fragmentaires – ils pourraient considérer que leur capacité à travailler ainsi est un élément fondamental de leur expertise. Communiquer ouvertement et réellement sur la manière avec laquelle les géologues travaillent en présence de données fragmentaires, cherchent à réduire l'incertitude et à faire des estimations les plus proches de la réalité, par exemple, pour les ressources et les risques naturels, est essentiel si cette manière de faire doit être reconnue comme un processus crédible plutôt que comme une simple expression d'ignorance.



## CHARTRE STRATIGRAPHIQUE INTERNATIONALE

[www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)

International Commission on Stratigraphy

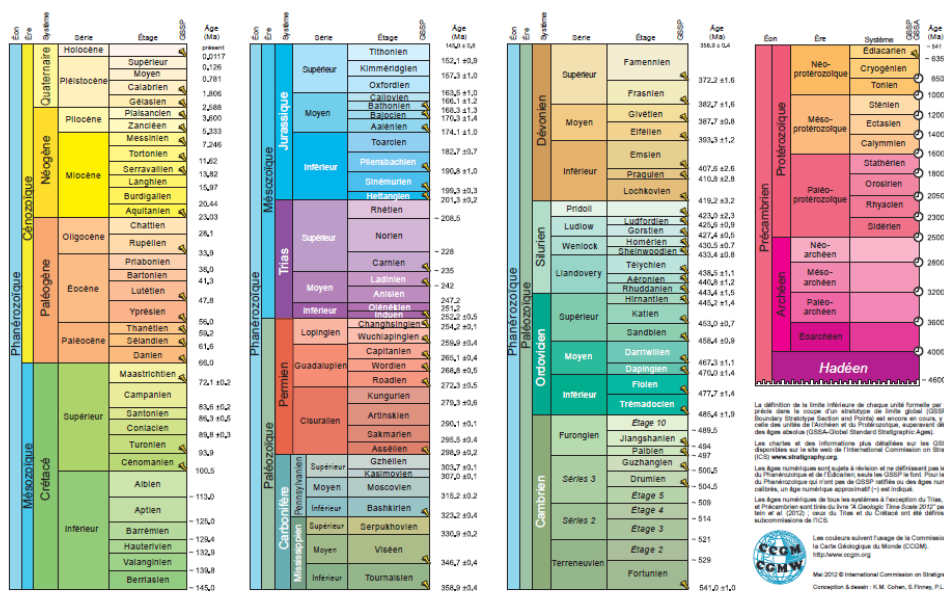


Tableau chrono-stratigraphique international. Commission Internationale de Stratigraphie

# La Géologie du futur

**La Société du 21ème siècle fait face à des défis inédits pour satisfaire les besoins en ressources d'une population globale croissante qui aspire à des conditions de vie meilleures, tout en apprenant à vivre de façon plus écologique sur notre planète. La garantie d'un nombre suffisant de personnes compétentes en Géosciences et d'un solide programme de recherche, nous aidera à affronter ces défis et est incontournable dans la mesure où les pays européens ont à cœur d'être compétitifs.**

## Education

La Géologie est fondamentale dans la vie quotidienne de chacun. Pour la majorité des pays européens, la géologie ne représente pas une matière essentielle dans le cursus scolaire de chacun. Il est donc essentiel que l'enseignement dispensé aux jeunes inclue les processus clés et les concepts en Géosciences au sein des matières scolaires de fond (telles que la chimie, la physique, la biologie et la géographie), pour transformer ces jeunes du 21ème siècle en citoyens bien informés et capables de s'engager dans les débats sur les grands défis auxquels l'espèce humaine sera confrontée. Le cursus scolaire en vigueur dans les pays européens doit refléter ce concept. S'assurer que tous les étudiants possèdent des bases en Géosciences est également nécessaire pour motiver la prochaine génération de géologues qui joueront un rôle fondamental, face à ces défis. Un avis éclairé concernant les métiers les plus porteurs et performants est également capital pour que les étudiants soient au courant du large éventail de filières et métiers potentiels en géologie, et comprennent comment les sujets qu'ils choisissent d'étudier à chaque étape de leur éducation, puissent plus tard limiter les programmes d'études universitaires, disponibles, (et par là, les options de carrière).

Les programmes et diplômes universitaires en géologie et autres spécialités des Géosciences fournissent une solide base scientifique et constituent un premier pas dans la formation des futurs géologues professionnels. Dans certains pays européens et nombre de secteurs industriels qui cherchent à recruter des géologues, les employeurs demandent aussi aux postulants de posséder un diplôme supérieur de type Maîtrise en Sciences, dans une spécialité se rapportant à la géologie pétrolière, la géologie de l'ingénierie, l'hydrogéologie ou la géophysique. Ces programmes ont souvent une forte orientation professionnelle. Les programmes de Doctorat (PhD) jouent aussi un rôle essentiel, à la fois en préparant ceux qui désirent continuer dans une carrière de chercheur en géosciences, et en fournissant des spécialistes formés au niveau du Doctorat à certains secteurs de l'Industrie. Il est essentiel que les pays européens s'assurent d'un financement cohérent avec une éducation en géosciences, à tous les niveaux, s'ils doivent être compétitifs économiquement et s'ils doivent développer et maintenir une capacité nationale pour faire face aux défis futurs.

## La Recherche

La compétitivité économique et notre capacité à affronter les futurs défis dépendront aussi du caractère durable de l'outil de recherche européen en géosciences. Il est essentiel de continuer à aider la recherche, guidée autant

## Garantir des standards professionnels pour le bénéfice public

La Fédération Européenne des Géologues (FEG) avec l'ensemble de ses Associations Nationales (Groupements de géologues professionnels), décerne le titre professionnel de Géologue Européen (EurGeol) aux praticiens possédant un niveau élevé d'éducation, des compétences professionnelles dans leur domaine et s'étant engagé pour une éthique professionnelle et une formation continue (CPD). Nombre d'Associations Nationales décernent aussi leur propre titre professionnel au niveau national. Estimés aussi bien individuellement que par leurs employeurs, ces titres garantissent autrui que le travail individuel, sur lequel s'appuient souvent la sécurité publique et le bien-être, sera effectué en toute compétence, du point de vue professionnel et éthique.

L'accréditation de programmes étudiants, au niveau Maîtrise et Doctorat, garantit que les étudiants acquièrent des compétences et connaissances de fond, au bénéfice des employeurs et du public. Les systèmes d'accréditation varient d'un pays à l'autre et pourraient être contrôlés par une association professionnelle, un Service gouvernemental ou une agence externe d'évaluation de la qualité. Le projet Euro-Ages, créé par la Commission Européenne, a développé un cadre commun de travail pour l'évaluation du contenu des diplômes en géologie et pour les critères d'accréditation, cela, pour faciliter la comparaison entre ces systèmes différents.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS

par la curiosité que par la satisfaction de besoins, pour que la société soit préparée, autant que possible, à répondre aux inconnus de l'inconnu – nouveaux risques et cas de nécessité futurs que nous n'avons pas encore anticipés. Maintenir et développer notre base de recherche nécessiteront, de notre part, une veille attentive pendant toutes les phases d'acquisition des compétences, et un investissement en finançant la recherche de manière durable pour que les jeunes chercheurs puissent bâtir des carrières stables.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



The  
Geological  
Society

servicing science & profession

Ce document a été élaboré par la Société Géologique de Londres, en association avec la Fédération Européenne des Géologues, la Société Géologique de France et l'Union Belgo-Luxembourgeoise des Géologues.

Pour plus de détails, veuillez consulter les liens suivants :

### **France:**

Tous secteurs de la Géologie

[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

Maîtrise de l'énergie

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

Énergies nouvelles

[www.ifpenergiesnouvelles.fr](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr)

Déchets radioactifs

[www.andra.fr](http://www.andra.fr)

Environnement

[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)

Risques naturels

[www.onrn.fr](http://www.onrn.fr)

### **Belgique**

Service géologique de Belgique

[www.naturalsciences.be/fr/science/do/25](http://www.naturalsciences.be/fr/science/do/25)

Union Belgo-Luxembourgeoise des Géologues

[www.blug-ublg.be](http://www.blug-ublg.be)

Service géologique de Wallonie

[geologie.wallonie.be](http://geologie.wallonie.be)

Comité national belge des sciences géologiques

[www.ncgw-cnsg.ugent.be](http://www.ncgw-cnsg.ugent.be)

### **Luxembourg**

Portail des sciences de la Terre

[www.geology.lu](http://www.geology.lu)

Administration du cadastre et de la topographie

[map.geoportail.lu](http://map.geoportail.lu)

Centre européen de géodynamique et de sismologie

[map.geoportail.lu](http://map.geoportail.lu)

Vous pouvez aussi consulter les documents de langue anglaise sur les thèmes développés dans ce rapport (articles de fond, ressources audio-visuelles et autres) auprès de La Société Géologique de Londres, en ligne sur le portail Geology for Society à [www.geolsoc.org.uk/geology-for-society](http://www.geolsoc.org.uk/geology-for-society).

- Bourse de Francfort - Frankfurt Stock Exchange" by Pythagomath - Own work. Licensed under CC BY-SA 4.0 via Wikimedia Commons
- Echantillon de la formation de fer rubanée de Krivog Rog, Ukraine - Banded iron formation". Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Système de traitement des eaux usées - Fine Bubble Retrievable Grid" by C Tharp - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Barrage et centrale électrique à accumulation par pompage de Kölnbrein, Carinthie, Autriche - Verbund malta" by Verbund. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Agriculture dans la région de La Rioja en Espagne - Tractor, La Rioja, Spain" by Raúl Hernández González. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Site de la construction du RER de Londres, station Tottenham Court Road - London Astoria site September 2009 CB" by carlbob. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Le train Glacier Express sur le Viaduc de Landwasser en Suisse - CH Landwasser 2" by Daniel Schwen - Own work. Licensed under CC BY-SA 2.5 via Wikimedia Commons
- La décharge de produits chimiques à Wakefield, au Royaume Uni - A big job - geograph.org.uk - 663806" by David Pickersgill. Licensed under CC BY-SA 2.0 via Wikimedia Commons
- Le Mont Saint-Michel- appartenant au Patrimoine Mondial, UNESCO- et sa baie en Normandie, France, site classé pour son patrimoine culturel associé à la beauté du cadre naturel - MtStMichel avion". Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Le Président Barack Obama, lors de sa visite à L'Aquila, ville sinistrée par un tremblement de terre, en Italie - President Barack Obama tour earthquake damage in L'Aquila, Italy - Wednesday, July 8, 2009" by The Official White House Photostream - P070809CK-0208. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Effondrement karstique dans le secteur de Birzai, en Lituanie - Geologų duobė" by Vilensija - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Fonte de glace à la périphérie de la calotte glaciaire, au Groenland - Greenland melt pond 2 (763775560)" by NASA ICE - Greenland melt pond 2Uploaded by russavia. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Pollution de l'air : fumée s'élevant d'une centrale tour existante - Air pollution smoke rising from plant tower" by U.S. Fish and Wildlife Service. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons

Photo de Couverture : l'Europe éclairée. NPA Cartographie satellite : CGG. Tous droits réservés. Interdiction de reproduire ou copier ces images sans autorisation écrite. Les Sociétés du NPA Group sont affiliées à la Société Géologique de Londres et sont spécialisées, depuis 1972, dans l'utilisation de l'imagerie satellite, l'exploration des ressources terrestres, l'environnement et les risques. S'il vous plaît, consulter le site [npa.cgg.com](http://npa.cgg.com).