

A&M ENJEUX & RÉALITÉS DU 21^E SIÈCLE

Au cœur
de l'innovation



Après l'exploitation,
la reconversion



L'INDUSTRIE
MINIÈRE
EN FRANCE

Exploration,
exploitation:
l'essentiel



Les métaux présents au quotidien

Smartphones, électroménager, avions, voitures, éoliennes... Les métaux sont présents dans la majorité des objets qui nous entourent. L'économie virtuelle en utilise également de grandes quantités dans les ordinateurs et les supports numériques mais aussi pour le transport et le stockage de l'information.



Extension d'une maison individuelle; architecte Mabire-Reich.



Ordinateur/ smartphone

Plus de 30 métaux dont cuivre, étain, germanium, gallium, indium, plomb, tungstène, tantale, terres rares, silicium, métaux précieux...



Énergies renouvelables

Silicium, cuivre, acier, nickel, molybdène, béryllium, germanium, gallium, indium, zinc, terres rares...



Éclairage

Cuivre, terres rares...



Aéronautique

Acier, cuivre, titane, chrome, manganèse, molybdène, magnésium, cobalt, terres rares...



Électroménager

Acier, inox, cuivre, terres rares, plomb, indium...



Pompe à chaleur et réseau de chauffage

Cuivre, inox, nickel, chrome...



Bâtiment

Acier, cuivre, zinc, plomb...



Matériel agricole

Acier, cuivre, zinc, nickel, plomb, lithium, cobalt, manganèse, métaux précieux...



Médical

Inox, nickel, cuivre, plomb, titane, chrome, cobalt, indium, terres rares, métaux précieux...



Agroalimentaire

Inox, nickel, chrome, acier, cuivre...



Automobile

Acier, cuivre, zinc, nickel, plomb, lithium, cobalt, manganèse, métaux précieux...



Météo, géolocalisation, Internet

Argent, béryllium, chrome, cobalt, cuivre, lithium, nickel, or, palladium, silicium...

Métaux précieux, cuivre, zinc, étain, plomb, tungstène, niobium, molybdène, indium, germanium, tantale, béryllium, nickel et cobalt sont présents dans le sous-sol français.

L'APPROVISIONNEMENT EN MINÉRAI, UN ENJEU STRATÉGIQUE POUR LA FRANCE

Les métaux sont indispensables à tous les produits et services qui font notre quotidien. On les retrouve par exemple dans la construction, les transports, l'électronique ou la production et le transport d'énergie. Ils sont également à la base de l'économie virtuelle, avec une utilisation systématique dans les outils informatiques, les objets connectés ou encore le transport et le stockage de l'information. Ils constituent par conséquent des matières premières essentielles et parfois critiques, particulièrement dans le cadre de la transition écologique et numérique. Leur production, souvent concentrée entre les mains de quelques pays, représente un enjeu stratégique pour notre économie et contribue à la souveraineté nationale.

Les métaux ont tous un jour été produits à partir de minerai. Collectés puis triés convenablement, ils peuvent être recyclés indéfiniment sans perte de propriétés afin de produire de nouveaux biens.

LE RECYCLAGE NE PEUT PAS RÉPONDRE À L'INTÉGRALITÉ DES BESOINS EN MÉTAUX

Compte tenu de la croissance de la consommation de métaux, le recyclage ne peut répondre à lui seul à la demande (voir ci-contre). Le recours à l'industrie minière et aux ressources naturelles primaires est donc incontournable.

En France, le sous-sol contient des ressources minières qui pourraient être davantage exploitées. Plusieurs projets d'exploration sont en cours en métropole et en Guyane pour tenter de mettre en évidence de nouveaux gisements contenant du cuivre, du zinc, du plomb, de l'étain, du tungstène, du niobium, du tantalum, du molybdène, du lithium, de l'indium, du germanium, ou encore des métaux précieux comme l'or et l'argent.

Si l'existence de ces gisements est démontrée, leur exploitation répondrait à une partie des besoins de l'économie française en métaux, améliorerait la balance commerciale en réduisant les importations et créerait localement des emplois. En outre, l'exploitation minière en France favoriserait une logistique courte, ce qui diminuerait l'impact du transport sur l'environnement. Enfin, cette exploitation serait soumise aux exigences françaises qui, en matière de protection sociale et de l'environnement, sont parmi les plus strictes au monde. ●

L'industrie minière et l'industrie du recyclage : deux sources d'approvisionnement complémentaires

Jean-François Labbé
Ingénieur, BRGM

« L'équilibre entre industrie minière et industrie du recyclage peut être assez simplement abordé en considérant le stock des produits existant actuellement et qui contiennent des métaux. Ces produits constituent un stock de métaux en usage pour un certain nombre d'années. Celui-ci augmente quand de nouveaux produits sont fabriqués et acquis pour leur usage, et diminue lorsque l'on jette des produits pour les recycler. Or, du fait de l'augmentation de la consommation dans les pays développés, de l'émergence de la classe moyenne dans les pays en voie de développement, de

l'augmentation de la population mondiale et de certaines évolutions technologiques, la quantité de nouveaux biens matériels que l'humanité accumule pour son usage est supérieure à la quantité de biens matériels hors d'usage qu'elle jette et qui sont disponibles pour le recyclage. Dès lors, on comprend bien que le recyclage ne peut pas suffire à fournir la totalité des métaux nécessaires pour répondre à la consommation mondiale. Il faut faire entrer de la matière nouvelle dans les boucles d'approvisionnement, et cette matière ne peut provenir que des mines. »



L'innovation et la performance supposent d'avoir accès à toute une variété de métaux

Patrick de Metz
Directeur Environnement, Saft

« Nous fabriquons des batteries industrielles à hautes performances destinées à l'aéronautique et à l'aérospatiale, au ferroviaire, aux réseaux informatiques et à l'industrie. Nous sommes parmi les leaders mondiaux sur chacun de ces marchés. Nos batteries hautes performances offrent de meilleures durées de vie mais également de meilleurs rendements et sont plus légères que celles de nos concurrents, ce qui contribue aussi à améliorer la performance énergétique des appareils qu'elles équipent. Cela implique pour nous d'avoir

accès à toute une variété de métaux qui entrent dans la composition des matières actives de nos batteries : lithium, nickel, cobalt, cuivre, fer, manganèse, cadmium, etc. Une partie de ces matières provient du recyclage mais il n'existe pas toujours de matières recyclées présentant les propriétés physico-chimiques dont nous avons besoin et dans certains domaines, les quantités issues du recyclage sont trop faibles pour faire face aux besoins en matières premières de nos usines. »





L'EXPLORATION MINIÈRE, À L'ORIGINE DE TOUT PROJET

Mettre en évidence un gisement de ressources minières exploitables d'un point de vue technique, économique et environnemental : c'est l'objet de l'exploration, qui constitue l'étape préalable à tout projet d'exploitation d'une mine.



Hélicoptère effectuant des mesures géophysiques.

caractériser un gisement. Le risque financier est très élevé puisque, selon les connaissances géologiques initiales, seuls 5 à 20 % des projets aboutissent. Les investisseurs qui s'engagent dans l'exploration espèrent donc un retour sur investissement important en cas de découverte, afin de couvrir les pertes liées aux échecs.

Aujourd'hui, les capitaux mobilisés sont quasi exclusivement étrangers. Du fait de l'absence d'exploitation pendant des décennies sur le territoire métropolitain, les investisseurs français se sont tournés vers d'autres secteurs industriels.

Les caractéristiques du sous-sol mises en évidence par la géophysique

Jack Testard

Président de Variscan Mines



«La géophysique étudie les caractéristiques physiques de la Terre. Elle s'appuie sur différentes techniques de mesure indirectes, c'est-à-dire qui ne nécessitent pas la collecte d'échantillons. À titre d'exemple, la gravimétrie met en évidence des corps lourds ou légers présents dans le sous-sol et la magnétométrie fait apparaître des zones naturelles perturbant le champ magnétique terrestre. Appliquées à l'exploration, ces techniques aident à identifier les secteurs susceptibles de contenir des ressources minérales. Ces mesures sont souvent effectuées depuis un hélicoptère afin de pouvoir couvrir rapidement de grandes surfaces. Ces techniques sont sans danger pour la santé humaine et pour l'environnement. »

UN LARGE ÉVENTAIL DE TECHNIQUES POUR CARACTÉRISER LE SOUS-SOL

Plusieurs phases se succèdent dans un projet d'exploration, le but étant d'augmenter progressivement les connaissances du sous-sol afin de réduire au fur et à mesure le périmètre d'investigation et, finalement, de cibler un gisement. La première étape consiste à délimiter une zone à fort potentiel géologique et minier à partir de documents et de données scientifiques existants. Vient ensuite le moment de déposer, auprès du ministère en charge des Mines, une demande de permis de recherche. La compagnie concernée doit alors fournir la preuve de ses capacités techniques, financières et de gestion, ainsi qu'une préétude d'impact environnemental et sociétal. L'exploration à proprement parler commence une fois le permis octroyé. Pour identifier un gisement, trois moyens sont utilisés : les analyses géochimiques d'échantillons de sol, de roches, d'eau ou de végétaux collectés manuellement en surface, les analyses géophysiques (voir page 8), puis les analyses chimiques d'échantillons prélevés en profondeur au moyen de sondages. La réussite d'un projet d'exploration nécessite le recours judicieux à une combinaison de toutes ces techniques. Au stade de l'exploration, les risques d'impact sur l'environnement sont très limités et, dans tous les cas, très encadrés, chacun des travaux miniers étant soumis à une procédure de déclaration ou d'autorisation. La phase d'exploration vise également à acquérir toutes les connaissances indispensables sur l'environnement local afin de concevoir une mine dont l'impact sera le plus faible possible (réseau hydrographique, milieux sensibles, espèces protégées, etc.) et d'envisager l'après-mine avant même le début des opérations. ●

Des impacts très limités sur le milieu naturel

Dennis Lahondes

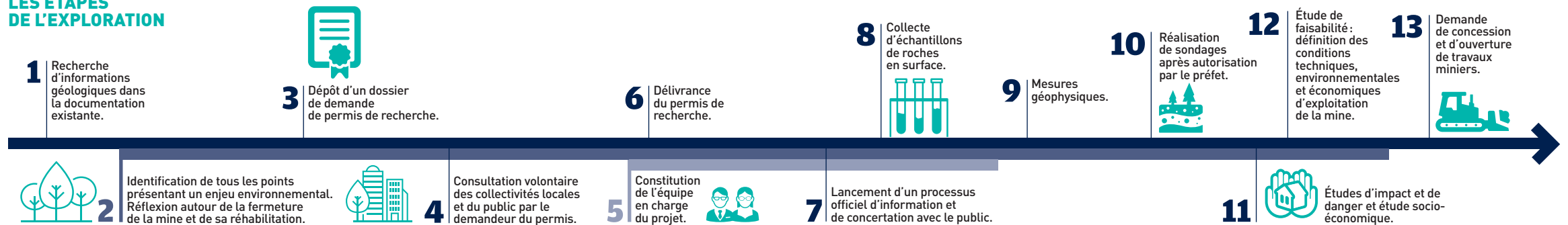
Consultant en exploration minière, Gexplore



« Les activités d'exploration sont temporaires et leur impact sur l'environnement est très limité lorsque les procédures éprouvées sont bien appliquées. La première phase de collecte d'échantillons est effectuée à la surface du sol à l'aide d'un marteau ou d'une tarière. L'analyse de ces échantillons permettra d'établir une carte géologique détaillée de la surface et de repérer des endroits présentant naturellement des concentrations en métaux supérieures à la normale. Ces "anomalies" peuvent correspondre à la présence d'un gisement potentiel. La seconde phase de l'exploration consiste en la réalisation de mesures géophysiques terrestres ou aéroportées (voir page 8).

Les sondages miniers sont réalisés ensuite dans l'objectif de collecter des échantillons en profondeur. Les techniques de sondage utilisées sont les mêmes que celles employées pour des forages de recherche d'eau. Les couches du sous-sol traversées sont isolées à l'aide d'un tube en acier intégralement rempli de ciment une fois le sondage terminé afin de parer d'éventuelles fuites et, ainsi, de préserver les nappes aquifères. Aucun produit chimique n'est employé pour cette étape ; l'eau est le seul fluide de forage utilisé. Les boues générées sont récupérées et décantées. Quant aux espaces de travail au sol, ils sont bien délimités et font l'objet, si nécessaire, d'une réhabilitation visant à favoriser leur revégétalisation rapide. »

LES ÉTAPES DE L'EXPLORATION



Pour renforcer
la sécurité,
consolidation
des parois
d'une galerie.

L'EXPLOITATION MINIÈRE, RESPECTUEUSE DE TOUS

Le but de l'exploitation minière est d'extraire des minerais qui sont ensuite transformés en métaux, dans le respect de l'environnement, de la santé et de la sécurité des personnes et en concertation avec les populations locales.

Le lancement de l'exploitation d'une mine n'est décidé que lorsque plusieurs conditions sont remplies. Parmi celles-ci, la preuve doit être apportée de l'existence d'un gisement suffisamment important, de la rentabilité économique du projet et de la faisabilité certaine d'une exploitation dans des conditions de respect de l'environnement et de sécurité des travailleurs et des riverains. Pour ces raisons, seuls 5 à 20 % en moyenne des projets d'exploration aboutissent à l'ouverture d'une mine. La phase d'exploitation commence par la construction des infrastructures de la mine, qui dure deux ou trois ans au cours desquels le personnel est recruté et formé. L'exploitation peut durer de dix à cinquante ans, voire plus, selon la taille du gisement découvert.



Contrôle visuel du flux de particules de minerai en suspension dans un concentrateur centrifuge sur la mine de Saint-Élie, en Guyane.

LE PROCESSUS D'EXPLOITATION

L'exploitation d'un gisement peut se faire directement depuis la surface (mine à ciel ouvert) ou à partir de puits et de galeries (mine souterraine). Elle consiste à extraire le minerai du gisement et à l'acheminer vers l'usine de traitement – le plus souvent bâtie sur le site lui-même – où il est concassé et broyé en fine poudre. Par différents procédés, les éléments utiles sont séparés du reste de la roche puis traités pour être transformés en métaux. Les roches qui ne contiennent pas les métaux recherchés (ou « stériles ») sont stockées sur site et une partie peut être utilisée pour le comblement d'anciens travaux miniers ou la construction d'infrastructures sur le site.

LA SÉCURITÉ ET LA SANTÉ, UNE PRIORITÉ

La santé, la sécurité des employés et des populations locales, tout comme les enjeux environnementaux, sont pris en compte tout au long du projet. L'objectif est ainsi d'anticiper tous les risques potentiels (émissions de poussières, risques d'effondrement, etc.), de les réduire le plus possible et de maîtriser les risques résiduels tout au long du cycle de vie de la mine. L'activité minière bénéficie d'une très forte expertise en France et est encadrée par une des réglementations les plus strictes au monde : droit du travail, code de l'environnement, code minier. Par exemple, le droit du travail s'applique à l'industrie minière comme à toute l'industrie française et se trouve même renforcé, pour certaines catégories de risques propres aux mines, par des exigences spécifiques. ●

La protection de l'environnement, condition essentielle d'une exploitation responsable

La protection de l'environnement est un impératif pendant toute la durée d'un projet minier. Anticipée dès le début de l'exploration, c'est une des préoccupations centrales de la conception de la mine, étape alimentée par des études d'impact, des études de danger et des études détaillées de la biodiversité, dans le respect de la démarche Éviter – Réduire – Compenser. La conception de la mine est également le moment au cours duquel la réhabilitation du site minier est anticipée, malgré le fait qu'elle aura lieu quelques dizaines d'années plus tard. Lors de l'exploitation et jusqu'à la finalisation de la fermeture du site minier, l'ensemble des activités susceptibles de porter préjudice à l'environnement sont constamment surveillées grâce à des mesures en continu ou régulières des émissions de polluants dans l'eau et dans l'air, des poussières, vibrations, etc.

Un partenariat fructueux pour la nature

Raphaël Quesada
Directeur de l'association Lo Parvi, L'Isle-Crémiéu

« À la fin des années 1990, le Groupe Vicat souhaitait ouvrir de nouvelles carrières dans le Nord-Isère ; il s'est rapproché de l'association locale naturaliste Lo Parvi pour lui confier un état des lieux environnemental du site potentiel. Au fil de nos études, nous sommes arrivés à convaincre les parties prenantes (Vicat, les élus, l'État) de créer une structure appropriée à une gestion active de la biodiversité. C'est ainsi qu'a été créée, fin 2001, la réserve naturelle volontaire (RNV) des Étangs de Mépieu, sur environ 80 hectares, en périphérie du projet de carrière. Ce site protégé s'est étendu (161 hectares) et est devenu une réserve naturelle régionale en 2005. Le Groupe Vicat est un partenaire formidable dans cette aventure. Il a généralisé cette approche à l'international, protégeant la biodiversité là où elle est (zone source), et facilitant ainsi le réaménagement écologique de sites ayant fait l'objet d'une industrie extractive. Depuis la fin des années 1990, les industriels ont fait évoluer leurs pratiques, intégrant à leurs projets les contraintes futures en partenariat avec les associations de protection de l'environnement. Les bonnes pratiques se sont multipliées, les mauvais comportements sont montrés du doigt et sanctionnés. La profession s'est vraiment engagée sur un chemin vertueux. Peu d'industries ont pu le faire sur un délai aussi court. »

À Pézènes-les-Mines, l'exploitation minière a un sens

Jacques Arbouy
Maire de Pézènes-les-Mines

« L'exploitation de la bauxite par Garrot-Chaillac remonte aux années 1980. La mine se trouve à l'extrémité du territoire, loin des cultures, des pâturages et des vignes. Elle n'a pas d'impact sur les autres activités de la commune, excepté quelques poussières rouges autour du site. L'exploitant limite la poussière et la boue sur les routes d'accès grâce à l'utilisation d'un débourbeur, notamment, et recherche un moyen de limiter davantage les envols de poussières qui touchent, par grand vent, une habitation isolée située près de la mine. D'anciens dépôts de stériles servent de murs antibruit et séparent le site minier du reste du territoire. Garrot-Chaillac s'est engagé à réhabiliter les anciennes mines situées dans le périmètre de son titre d'exploitation et qui avaient été laissées à l'abandon par Pechiney, faute à l'époque de dispositions réglementaires favorables à l'environnement. C'est tout bénéfique pour le territoire, et cela laisse entrevoir un bel avenir pour la commune. Aujourd'hui, grâce à la revégétalisation, le paysage revit déjà ! D'un point de vue économique, Pézènes-les-Mines reçoit la redevance minière et loue des terrains à Garrot-Chaillac pour le passage des camions et l'exploitation à ciel ouvert. »

LES ÉTAPES DE L'EXPLOITATION



LA RECONVERSION, CONDITION INDISPENSABLE À UN PROJET RÉUSSI

La fermeture d'une mine est la dernière grande étape du cycle minier. Elle annonce une nouvelle vie pour le site, qui n'aura été que temporairement exploité et doit être réhabilité après l'arrêt des activités minières.

L'ancienne mine réhabilitée du Puy de l'Age.



Processus de revégétalisation après exploitation minière en Nouvelle-Calédonie.

L'étape de « l'après-mine » est un élément essentiel dans la décision d'ouvrir ou non une mine sur un territoire. Entre autres conditions, l'exploitant doit démontrer qu'il sera en mesure de réaliser une réhabilitation de qualité pour se voir attribuer l'autorisation de construire la mine. La fermeture est donc anticipée très en amont, en accord avec toutes les parties prenantes, afin de prendre en compte les aspects sociaux, économiques et environnementaux de cette phase clé du projet minier.

À l'approche de la fin de l'exploitation, le contenu détaillé et le calendrier du plan de fermeture sont communiqués par l'opérateur aux différentes parties prenantes (administration, collectivités locales, syndicats d'employés, associations concernées, etc.).

L'après-mine se déroule en trois étapes : la préparation de l'arrêt des travaux et l'anticipation de la fermeture, l'arrêt des travaux et la réhabilitation du site et, enfin, la gestion de l'après-mine. L'objectif est de s'assurer que la seconde vie du site se déroulera dans les meilleures conditions pour les collectivités locales et leurs populations, pour l'État et pour l'exploitant.

UN PROJET MINIER CONÇU POUR ÊTRE TEMPORAIRE

L'arrêt des travaux d'exploitation et de traitement du minerai signifie le démantèlement et la mise en sécurité de l'ensemble des installations minières. La mise en sécurité vise à réduire le plus possible les risques que pourraient causer les anciennes installations (galeries, fronts de taille, etc.).

L'après-mine est également anticipé du point de vue social

La reconversion sociale du site est anticipée par l'exploitant et coconstruite avec les syndicats d'employés. En effet, la reconversion réussie du site passe aussi par la création de nouvelles activités économiques et par la formation des employés en vue de leur nouvel avenir professionnel.

à achever le stockage pérenne des résidus miniers et, si nécessaire, à mettre en place une gestion des eaux pour l'après-mine. En cas de risques résiduels, une surveillance régulière sera maintenue.

Une fois le démantèlement terminé, le site est réaménagé afin de le remettre dans un état le plus proche possible de l'état initial ou dans un état compatible avec la reconversion envisagée avec l'administration et les collectivités locales (utilisation forestière, agricole, de loisir, installation d'énergies renouvelables, etc.), grâce au remodelage des pentes, à la création de plans d'eau, etc. La revégétalisation des sols est une des clés d'un réaménagement réussi (voir ci-contre). Une fois la mise en sécurité et le réaménagement terminés dans les conditions exigées par la police des mines, la gestion de l'après-mine est transférée à la charge de l'État. ●



La revégétalisation des sites miniers

Élodie Brunstein

Directrice et gérante, Solicaz

Alexandre Cailleau

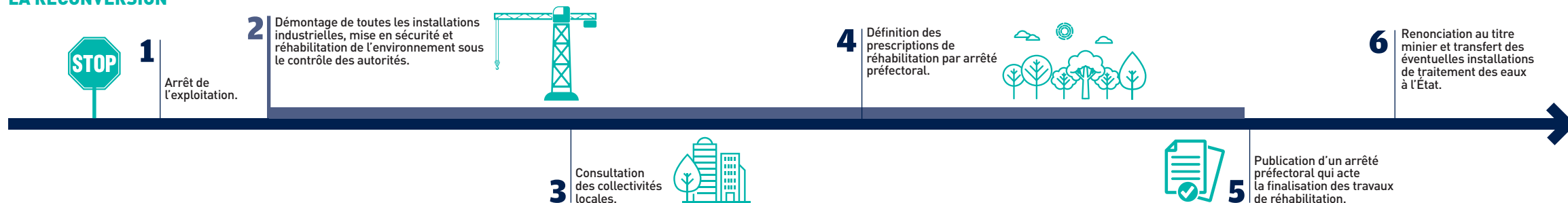
Géologue, Compagnie Minière Espérance

Quelle technique utilisez-vous pour revégétaliser d'anciens terrains miniers ?

Élodie Brunstein : « La revégétalisation des sols miniers ne peut pas se faire naturellement en Guyane car les sols sont très pauvres. Nous avons donc sélectionné des plantes qui répondent à plusieurs critères : ce sont des plantes locales, capables de pousser sur des sols pauvres, à croissance rapide et qui supportent le plein soleil. Nous développons des techniques s'appuyant sur des symbioses entre plantes et champignons ou bactéries. Elles sont particulièrement pertinentes dans le cas des sols dégradés car elles restaurent la fertilité en favorisant l'activité biologique du sol pour recréer rapidement un couvert végétal grâce auquel un écosystème durable se développera. »

Alexandre Cailleau : « Cette méthode remporte de vrais succès puisqu'en seulement trois ans, une biodiversité déjà importante s'est réinstallée dans des zones replantées : 65 % des espèces forestières présentes localement ont été observées et plusieurs espèces d'oiseaux et de chauves-souris ont fait leur retour. Aujourd'hui, nos plantations sont devenues une forêt en pleine croissance constituée d'arbres d'une vingtaine de mètres de hauteur ! »

LES ÉTAPES DE LA RECONVERSION



L'INDUSTRIE MINIÈRE, PORTEUSE D'INNOVATIONS

Ancienne par son histoire, l'activité minière n'en est pas moins moderne dans son approche industrielle, et son pouvoir d'innovation la projette dans le futur. Pour preuve : le nombre élevé d'inventions nées au cœur de la mine ces dernières années.



Poste de commande
d'un engin de forage
utilisé pour l'exploitation
souterraine.

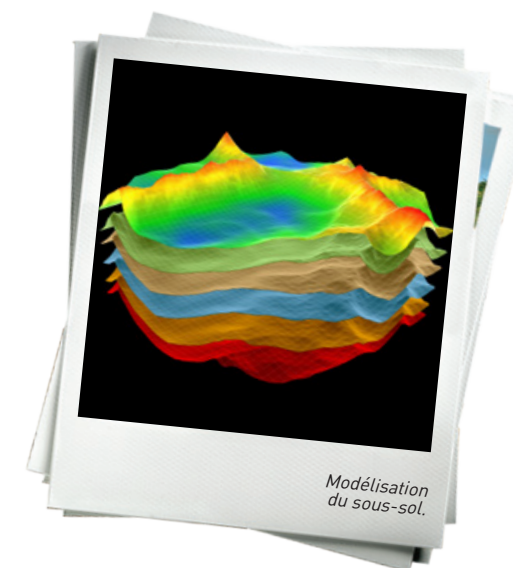
Faciliter le développement intégré de la mine

La mise en œuvre d'une mine est un processus complexe au cours duquel de multiples unités industrielles doivent être conçues parallèlement : géométrie des travaux miniers, volume de roches à déplacer, cadences d'exploitation, usines de traitement du minerai, traitement des eaux et des déchets, réhabilitation du site, etc. Des logiciels ont été conçus pour faciliter la planification et la gestion de toutes ces opérations. Il est ainsi possible de concevoir virtuellement une mine et sa réhabilitation, et de prévoir les travaux miniers en 3D avant même de la construire.

Loin des clichés, l'exploration et l'exploitation des ressources minérales constituent l'un des domaines où la recherche et le développement sont particulièrement actifs. L'industrie minière est un secteur inventif, qui renouvelle sans cesse ses concepts et ses pratiques, pour une exploration plus précise, une exploitation plus efficace, dans des conditions de travail plus sûres, et pour une réhabilitation toujours plus réussie. L'ambition partagée par la profession est de produire les métaux nécessaires à la société d'aujourd'hui et de demain dans des conditions sans cesse améliorées et dans le souci d'une gestion efficace des ressources.

L'INNOVATION, MOTEUR DES PROGRÈS DU SECTEUR MINIER

Comme tous les secteurs d'activité, l'industrie minière a puisé dans les progrès de toutes les sciences (géologie, informatique, chimie, efficacité énergétique, etc.) et dans de nombreuses innovations, telles que les drones ou la géolocalisation, pour améliorer ses procédés et développer de nouvelles technologies. Il est difficile de choisir parmi les innombrables innovations réalisées ces dernières décennies. Les quelques exemples qui suivent illustrent bien la dynamique constante qui alimente cette activité. ●



Modélisation
du sous-sol.

Valoriser les gisements polymétalliques

Avec l'évolution des procédés, nous savons aujourd'hui valoriser plusieurs métaux contenus dans un minerai polymétallique. Cette innovation s'inscrit dans les principes de la mine responsable, qui visent la valorisation la meilleure possible des gisements.

Philippe Gundermann
 Directeur de la Stratégie
 et des Relations Investisseurs
 du groupe ERAMET

L'exploitation minière existe depuis plusieurs siècles. Comment ce secteur peut-il encore être porteur d'innovations ?

« Le secteur de la mine est et restera porteur d'innovations pour diverses raisons. La mine de demain exploitera les métaux de base indispensables pour notre quotidien, mais aussi les métaux pour les applications de demain, comme le lithium, essentiel pour la transition énergétique : stockage de l'énergie, ordinateurs et téléphones portables, voitures électriques. Nous avons déposé une dizaine de brevets sur un procédé innovant, en particulier sur le plan environnemental, pour l'extraction du lithium en Argentine. Ce procédé à haut rendement se distingue aussi par sa productivité du procédé traditionnel par évaporation. De plus, il faut voir qu'aujourd'hui, la plupart des gisements de très riche teneur sont en cours ou en fin d'exploitation. L'exploitation minière de demain se fera avec des gisements polymétalliques de plus faible teneur, qui nécessitent l'utilisation de procédés innovants de plus en plus complexes capables de séparer les différents métaux contenus dans les minerais. Je peux citer le projet Estuaire, qui a conduit à la refonte du procédé de notre raffinerie au Havre pour y traiter un concentré nickel polymétallique complexe, à la place de la matte calédonienne qui avait alimenté l'usine depuis plus de cent ans. Nos équipes de R&D ont développé ce procédé en un temps record. »



Formation sur le terrain dans une mine à ciel ouvert.

Former en toute sécurité

Avec les systèmes d'entraînement immersif et virtuel, le personnel est formé en toute sécurité avec un réalisme étonnant. En plaçant le travailleur dans des situations auxquelles il pourrait être confronté au cours de sa carrière, ces systèmes lui apprennent à bien réagir et à maîtriser les risques sans s'exposer à un quelconque danger.



Galeries d'une mine souterraine.

Optimiser la ventilation

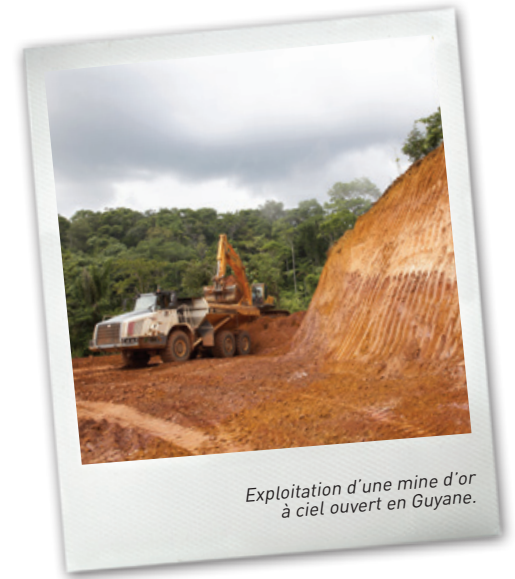
La ventilation des mines souterraines est une des priorités de toute exploitation souterraine. Un circuit de ventilation est complexe puisqu'il doit maintenir une qualité d'air, une température et une pression adéquates dans chaque zone de la mine. Il est possible d'améliorer l'efficacité énergétique de la ventilation en la limitant aux zones où elle est nécessaire et en adaptant les débits aux besoins. Des logiciels de modélisation des flux d'air et de particules sont utilisés pour cela.

Valoriser les stériles

Utiliser les stériles (roches ne contenant pas de métaux) pour boucher les anciennes cavités présente plusieurs avantages. Dans le cas des mines souterraines, cela limite à la fois les stockages en surface qui modifient le paysage et renforce les cavités pour réduire les risques d'effondrement. Dans les mines à ciel ouvert, les stériles servent à combler, au moins partiellement, la cavité formée par l'extraction, parfois même au fur et à mesure de l'avancée de l'exploitation, ce qui favorise une réhabilitation progressive du site.



Stérile minier servant à combler les cavités arrivées en fin d'exploitation.



Exploitation d'une mine d'or à ciel ouvert en Guyane.



Installations souterraines de broyage du minerai.

Exploiter en continu et sans explosif

Dans le cas de roches tendres, de nouvelles machines servent à extraire le minerai en continu. Cette nouvelle méthode vise à améliorer la productivité et la sécurité dans la mine étant donné qu'il n'est alors pas nécessaire d'utiliser des explosifs.



Engin d'exploitation souterraine en continu.

Réduire les nuisances

Les roches extraites sont d'abord concassées et broyées pour séparer les minéraux qui contiennent les métaux de la gangue. Il s'agit d'une opération bruyante et pouvant produire des poussières. Dans les mines souterraines, ces opérations sont maintenant réalisées sous terre quand cela est possible. Cela réduit à la fois les nuisances sur l'environnement et la consommation énergétique, puisqu'il n'est plus nécessaire de remonter la totalité des matériaux à la surface.

Géomètre
effectuant des
mesures dans une
zone exploitée
en Guyane.

DES EMPLOIS DIVERSIFIÉS, MOTEUR POUR L'ÉCONOMIE LOCALE

Partout où elle s'ouvre, la mine est source d'emplois directs et indirects non délocalisables dans des territoires ruraux souvent en quête de diversification économique.

Parce qu'un gisement minier ne peut pas être déplacé, l'industrie minière est une source d'emplois directs et indirects non délocalisables. Elle constitue également le premier maillon de la chaîne industrielle et alimente en métaux un grand nombre de filières aval comme la mécanique, la construction ou encore l'automobile. Chaque ouverture de mine renforce donc le tissu industriel national.

UN LARGE PANEL DE COMPÉTENCES

Dès la phase amont d'exploration, de nombreuses spécialités entrent en jeu pour localiser et caractériser le gisement. Acteur de terrain, le géologue d'exploration a notamment pour mission l'évaluation du potentiel minier d'une région donnée, le choix des cibles pour des études de détail, l'estimation des ressources minérales découvertes, etc. Il fait appel, pour l'aider dans sa mission ou pour réaliser les études environnementales et économiques, à tout un panel de techniciens spécialisés et d'experts.

Lorsque toutes les conditions géologiques, économiques, environnementales et sociétales sont réunies, l'exploitant intervient. Pendant cette phase, les besoins en compétences se multiplient. Outre les métiers liés directement à la production minière (conducteur d'engins, chef de carrière, foreur-mineur boute-feu, métallurgiste, etc.), il faut aussi recruter différents savoir-faire dans les métiers de la maintenance (des machines, des installations, etc.), de la logistique (gestion des stocks, des approvisionnements, etc.) et du commerce (notamment pour acheter les matériaux utilisés dans la construction de la mine et vendre les produits de l'exploitation). La phase d'exploitation peut durer de dix à cinquante ans, voire beaucoup plus, comme c'est le cas pour une mine de nickel ouverte il y a cent trente-sept ans en Nouvelle-Calédonie. ●

Jean-Marc Montel
Directeur de l'École Nationale Supérieure de Géologie (ENSG)

Une industrie minière attractive

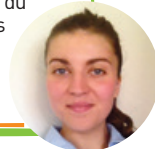
Parmi les motifs d'attractivité de notre filière, on note la dimension internationale et le côté explorateur. Certains étudiants passionnés viennent pour la géologie en tant que telle et s'orientent ensuite vers l'industrie minière, l'une des activités les plus géologiques. D'autres découvrent cette spécialité durant leurs études. Les profils d'ingénieur-géologue sont aussi appréciés des entreprises dans des secteurs d'activité autres que l'industrie minière. Aujourd'hui, on assiste à un élargissement des compétences des géologues miniers et carriers. Il ne suffit plus d'être un bon ingénieur, il faut avoir de solides notions en droit et en économie. Mais un géologue doit aussi tenir compte de l'environnement dans lequel s'inscrit la mine, et notamment des parties prenantes, et il doit inclure les questions de responsabilité sociétale des entreprises dans ses pratiques. Et les géologues que nous formons se révelent parfaitement à la hauteur de leurs nouvelles responsabilités !



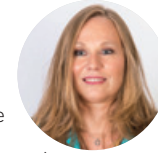
Laura Lemaire
Responsable Sécurité et Environnement, Compagnie Minière Espérance

Il est indispensable que je sois en lien direct avec le terrain

J'ai suivi une formation d'ingénieur agronome avec une spécialité en environnement et gestion des eaux. J'ai ensuite travaillé pour un bureau d'études en environnement avant de rejoindre la Compagnie Minière Espérance, qui exploite deux mines d'or en Guyane. Mes missions portent principalement sur la gestion des eaux, la revégétalisation de nos anciennes zones exploitées et la sécurité du personnel. Comme il est indispensable que je sois en lien direct avec le terrain, je suis présente une dizaine de jours par mois sur nos mines.



Carol Ostorero
Présidente de la Compagnie Minière Espérance et de la Fédération des Opérateurs Miniers de Guyane (FEDOMG)



Un métier moderne au sein d'une compagnie minière

Nous souhaitons montrer que chacun, homme comme femme, peut trouver sa place et s'épanouir avec un métier moderne au sein d'une compagnie minière. Nous devons aider la jeunesse à dépasser cette image plutôt négative du travail au sein d'une mine, car ce secteur propose plus de quatre-vingt-dix métiers différents, des postes de bureau à ceux de terrain, des postes techniques aux postes administratifs, des postes accessibles du bac jusqu'à bac+5. Il y en a pour tous. La filière représente en moyenne cinq cents emplois directs et, selon nos estimations, mille cinq-cents emplois indirects. Il s'agit du deuxième secteur d'activité de Guyane, derrière l'aérospatiale. En fonction du résultat des travaux d'exploration en cours, la filière pourrait générer de douze mille à quinze mille emplois directs et indirects dans les années qui viennent.

UN LARGE ÉVENTAIL DE MÉTIERS

Chacune des étapes d'un projet minier mobilise un grand nombre de collaborateurs ayant chacun son expertise.

En phase d'exploration : géologue d'exploration, géophysicien minier, géologue consultant, minéralurgiste (chargé d'extraire les substances utiles du minerai et de fournir un concentré), métallurgiste (chargé de produire les métaux à partir du concentré), consultant étude environnementale, spécialiste de la biodiversité, etc.

En phase d'exploitation : directeur de mine, conducteur d'engin, technicien de maintenance, minéralurgiste, métallurgiste, géologue d'exploitation, géologue environnement et foncier, ingénieur géomaticien, responsable de logistique, comptable, responsable ressources humaines, etc.

Élise Bouchet
Directeur technique du site de Bédarieux, Garrot-Chaillac Industrie

Je supervise toutes les activités liées à l'exploitation

Titulaire d'un diplôme d'ingénieur en géologie avec une spécialité mines et carrières, j'ai intégré le groupe Garrot-Chaillac, une société familiale indépendante spécialisée dans la baryte, le manganèse, l'or et la bauxite, en avril 2012. J'ai notamment travaillé sur le projet de la mine de fluorine d'Antully et sur l'exploitation de la bauxite de Bédarieux. Je suis responsable de toutes les activités, de la production au suivi de la maintenance des engins en passant par les relations avec les élus locaux et les riverains. Je m'occupe également des demandes administratives nécessaires aux exploitations. Ma mission principale a été de mettre en place une politique efficace en matière de santé, de sécurité et d'environnement, d'autant que les règles applicables dans ce domaine ne cessent d'évoluer. Être dans un groupe industriel de petite taille, c'est avoir un regard sur toutes ses activités. Être une femme dans un métier majoritairement masculin ? Pour moi, ce n'est pas un problème, je le vois plutôt comme un avantage : je fais passer des décisions en douceur.



EN AUTRICHE ET EN NOUVELLE-CALÉDONIE, DES MINES RESPONSABLES DÈS LEUR CONCEPTION

L'activité minière se déroule au cœur de territoires dont les spécificités environnementales, sociales et sociétales doivent être impérativement prises en compte dès le début du projet minier.

À l'image des mines exploitées par Wolfram à Mittersill, en Autriche, et par la SLN en Nouvelle-Calédonie, deux exemples remarquables de mines responsables.



Seule l'entrée de la mine de Mittersill est visible depuis l'extérieur.



Usine de traitement du minerai de la Société Le Nickel (SLN) en Nouvelle-Calédonie.

À Mittersill, en Autriche, une intégration environnementale réussie

Située dans la province de Salzbourg, dans l'ouest autrichien, la mine de tungstène de Mittersill se trouve au cœur d'un espace protégé adjacent au parc national des Hohe-Tauern, l'un des plus importants du pays : un contexte environnemental particulièrement sensible constamment pris en compte dans l'exploitation de la mine par la compagnie minière Wolfram Bergbau und Hütten, et ce depuis la fin des années 1970. Ainsi, la plupart des infrastructures sont souterraines : les uniques constructions visibles sont un petit chalet utilisé par le département engineering et l'entrée principale du site à 1 175 mètres d'altitude.

Pour sa part, l'usine de concentration du minerai a été construite en surface à 3 kilomètres plus en aval du site minier de Mittersill, dans une zone éloignée du parc national peu exposée aux avalanches.

La mine, qui contient une station de concassage souterraine, et l'usine sont reliées par un convoyeur à bande pour transporter le minerai. L'essentiel des résidus de la mine sont utilisés comme remblai pour combler les cavités arrivées en fin d'exploitation ou sont vendus comme granulats pour les travaux publics. Seuls les résidus finement broyés, chimiquement inertes, sont stockés dans des digues à stériles qui sont revégétalisées une fois remplies. Grâce à toutes ces précautions prises dès sa mise en exploitation, la mine de Mittersill a été la première mine de tungstène au monde à recevoir en 1999 la certification environnementale ISO 14001.

En Nouvelle-Calédonie, une exploitation durablement intégrée au territoire

La Société Le Nickel (SLN), filiale du groupe ERAMET, exploite des mines de nickel en Nouvelle-Calédonie depuis plus de cent trente-cinq ans. Aujourd'hui premier employeur privé avec plus de deux mille salariés, dont plus de 97 % sont calédoniens, cette entreprise génère huit mille emplois indirects et rassemble près de deux cent cinquante métiers.

La SLN est engagée dans une politique environnementale autour de quatre axes : l'utilisation rationnelle et optimale des ressources minières, la préservation des ressources naturelles et de la biodiversité, la maîtrise des risques et la réduction de l'impact de ses activités et, enfin, la transparence à l'égard des parties prenantes. Par exemple, grâce aux efforts constants de la SLN pour réduire ses émissions atmosphériques depuis plusieurs années, 99,8 % des émissions de poussières canalisées de l'usine de Doniambo sont filtrées et recyclées.

En matière de protection de la biodiversité, la SLN protège environ 850 hectares de maquis et forêts au sein des cinq parcs de protection de la biodiversité qu'elle a créés, et plus de 160 hectares ont été revégétalisés par hydroseeding et par la plantation d'espèces endémiques.

Enfin, depuis plus de vingt ans, la SLN lance, soutient et finance des initiatives dans les domaines de l'environnement, de la formation, de la culture, de la santé ou du sport grâce à un programme de mécénat. ●

QUESTIONS FRÉQUENTES

Qu'est-ce qu'un minerai ?

La plupart des métaux n'existent pas sous leur forme métallique à l'état naturel mais sont combinés à d'autres éléments chimiques pour former des minerais. Une fois ces minerais extraits, plusieurs étapes de broyage, de tri et de transformation sont nécessaires pour les convertir en métaux. La fraction de roches ne contenant pas les métaux recherchés est appelée « stérile ». Elle sert à réhabiliter

des parties de la mine dont l'exploitation est terminée et à construire des routes sur le site.

Quelle est la différence entre un permis minier et une autorisation de travaux miniers ?

Un permis exclusif de recherche ou un permis d'exploitation (aussi appelé « concession ») donne l'exclusivité à son titulaire d'explorer ou d'exploiter les métaux mentionnés dans le permis dans un périmètre donné.

Il est délivré par décision ministérielle. En interdisant toute exploration ou exploitation dans ce périmètre par une autre société, il protège les découvertes géologiques faites par son titulaire, comme le ferait un brevet pour une découverte dans un autre domaine technique. Un permis minier n'autorise pas à réaliser des travaux miniers. La réalisation de travaux miniers passe par une déclaration auprès du préfet, pour les travaux de faible

importance n'ayant aucun risque d'impact sur l'environnement, ou par une demande d'autorisation préfectorale, pour les travaux de plus grande envergure présentant un risque d'impact sur l'environnement. Un explorateur ou un exploitant qui ne respecterait pas ses engagements sans raison valable ou qui ne se conformerait pas à la réglementation peut se voir retirer ses autorisations de travaux miniers, voire son permis minier.

Qu'est-ce qu'un sondage minier ?

Les sondages miniers ont pour but de prélever des échantillons de roches en profondeur afin d'étudier la composition et la nature des roches et de quantifier les métaux présents. Les techniques de sondage sont les mêmes que celles employées quotidienne-

ment en France pour la recherche d'eau. Les éventuels risques de pollution des eaux ou de mise en contact de différentes nappes phréatiques sont supprimés par l'introduction d'un tube recouvrant toute la paroi du sondage, ce tube étant ensuite comblé par du ciment pour empêcher toute circulation d'eau.

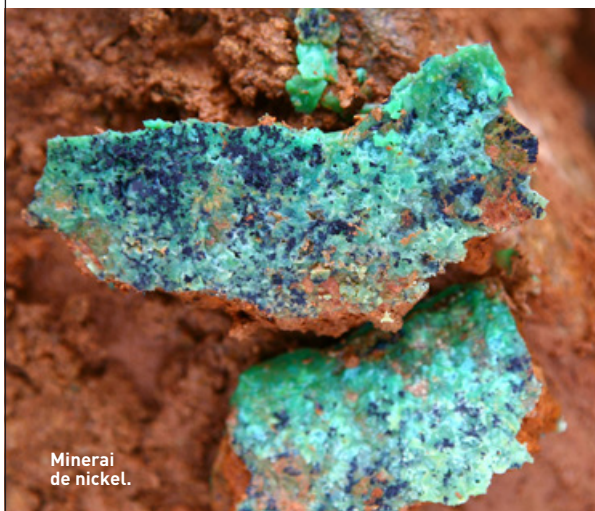
Un permis d'exploration entraîne-t-il automatiquement un permis d'exploitation ?

Le titulaire d'un permis d'exploration est le seul autorisé à demander un permis d'exploitation lorsqu'il a découvert un gisement. Pour cela, il doit démontrer que son projet est techniquement et financièrement solide et qu'il a les capacités de le mener à bien, que l'ensemble des risques pour l'environnement et pour la sécurité ont été

envisagés et réduits autant que possible et que les risques résiduels seront maîtrisés. Enfin, il doit prouver qu'il sera en mesure de réaliser une réhabilitation de qualité une fois l'exploitation terminée. Il n'y a donc pas de conversion automatique d'un permis d'exploration en permis d'exploitation.

Qu'est-ce qu'une étude de faisabilité ?

L'étude de faisabilité est réalisée à la fin de l'exploration. Elle contient une évaluation précise du gisement et une étude détaillée des méthodes d'exploitation et de traitement du minerai qui précise les coûts de l'ensemble des opérations, de la construction de la mine à sa réhabilitation. Cette étude vise à démontrer, ou non, que le gisement est exploitable d'un point de vue technique et financier.



Minerai de nickel.



Fragment de carotte d'un sondage minier.



Mesures géophysiques au sol de la résistivité des diverses roches.



Pépinière de plantes préparées en vue de la revégétalisation d'un site minier en Guyane.

Elle est essentielle pour l'entreprise car elle lui évite toute mauvaise surprise lors de la construction de la mine et lui assure que le projet sera rentable. Pour les services de l'État, c'est également une pièce maîtresse du dossier d'instruction car elle leur sert à évaluer dans le détail la qualité du projet d'exploitation avant d'autoriser son lancement.

Comment les impacts sur le milieu naturel sont-ils pris en compte ?

La prise en compte de l'environnement et de la santé est intégrée dès la conception du projet, en respectant notamment la séquence Éviter-Réduire-Compenser (ERC), imposée par le code de l'environnement. Cette séquence est prévue dans le cadre des projets soumis à autorisation, tels que les projets miniers. Cet outil est essentiel pour préserver la biodiversité et englobe, en outre, l'ensemble des thématiques de l'environnement (air, bruit, eau, sol, santé des populations, etc.). Selon cette séquence, les impacts sur le milieu naturel doivent être évités, sinon réduits, et en dernier recours compensés, si les deux premières étapes n'ont pas permis de les supprimer totalement.

Comment le risque de pollution de l'eau est-il géré ?

Le risque de pollution de l'eau est un des principaux risques pour l'environnement que peuvent générer des activités extractives. Ce risque dépend de la nature des roches et des procédés employés. Pour des raisons à la fois écologiques et économiques, la plupart des procédés de traitement minier sont aujourd'hui conçus pour fonctionner avec un usage de l'eau en circuit fermé afin de réduire la quantité d'eau consommée et les volumes d'eau polluée à traiter. L'ensemble des eaux sortant du site minier, y compris les eaux qui ne sont pas utilisées dans le procédé, sont systématiquement analysées et, si nécessaire, traitées afin de ne rejeter aucun effluent dangereux dans le milieu naturel ou dans le réseau public. Les concentrations en polluant de ces rejets sont encadrées par des normes très strictes fixées par le code de l'environnement.

Comment les déchets miniers sont-ils gérés ?

La gestion des déchets est un point d'attention majeur au cours de l'exploitation et de la réhabilitation d'une mine et vise à éviter la dispersion de contaminants dans l'environ-

nement. Plusieurs types de déchets sont produits au cours de la vie de la mine. La composition et la quantité de chaque déchet dépendent du gisement exploité et le mode de gestion est adapté aux caractéristiques de chacun. Les stériles, roches ne contenant pas ou très peu de métaux, peuvent être réutilisés pour combler des cavités déjà exploitées ou peuvent être vendus comme sous-couche routière. Les résidus de traitement du minerai, aussi appelés « tailings », et les déchets issus de la conversion des minéraux en métaux sont neutralisés chimiquement et stockés dans des bassins ou peuvent être mélangés à du béton pour combler et consolider les cavités dans le cas d'une mine souterraine.

Une mine qui serait ouverte dans les années à venir pourrait-elle poser des problèmes écologiques ou de santé équivalents à certaines anciennes mines ?

Non, cela n'est pas possible pour plusieurs raisons. La plupart des anciennes mines qui posent aujourd'hui problème ont été ouvertes avant 1950. Les résidus miniers étaient stockés avec les précautions de l'époque ; et les émissions dans l'eau

et dans l'air, ainsi que les conditions de travail ne faisaient pas l'objet de normes strictes. En particulier, les conditions de l'après-mine après le départ de la société minière n'étaient pas définies. Aujourd'hui, absolument toutes les phases de l'activité minière sont encadrées par des normes très exigeantes au-delà du code minier fixées par le code de l'environnement et le code du travail et font l'objet de contrôles rigoureux et fréquents qui s'appliquent pendant l'exploitation de la mine mais également après sa fermeture. En outre, les technologies actuelles sont radicalement différentes des techniques de l'époque, tant

en termes d'extraction que de traitement du minerai, de maîtrise des émissions dans l'eau et dans l'air, de protection des salariés, etc.

Quelle est la position de l'industrie sur la réforme du code minier ?

L'industrie minière soutient la réforme du code minier depuis ses débuts et défend trois points, essentiels selon elle. En premier lieu, les procédures doivent être simplifiées pour accélérer le traitement administratif des dossiers. En effet, il arrive aujourd'hui que plusieurs années soient nécessaires pour terminer l'instruction

d'un dossier, ce qui représente des coûts importants pour l'entreprise et rend le territoire français peu attractif pour d'éventuels investisseurs. Deuxièmement, cette réforme doit préserver le niveau d'exigences actuel du code minier en matière de protection de l'environnement et des personnes. La France dispose en effet de l'un des dispositifs les plus protecteurs du monde et il convient de le conserver. Enfin, le cadre actuel définissant les modalités d'information et de consultation du public doit être revu afin de renforcer les relations entre les industriels et l'ensemble des parties prenantes.

Ce magazine est réalisé par

A&M

**L'Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux,
pour soutenir la relance
de l'industrie minière en France.**

Pour en savoir plus : www.industrieminiere.fr



UNE ALLIANCE.

L'Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux représente les entreprises françaises de l'industrie minière, de la production, de la transformation et du recyclage des métaux, soit 350 entreprises employant 62 500 personnes.

UN INTERLOCUTEUR OUVERT AU DIALOGUE.

Porte-parole de la profession, A3M est l'interlocuteur des pouvoirs publics et de tous les représentants de la société civile.

UN CONTRIBUTEUR.

L'Alliance s'inscrit dans une démarche collective et proactive avec des industriels responsables et engagés sur les grands enjeux sociétaux et contribuant aux filières d'avenir.

Déléguée Générale : **Claire de Langeron**

ALLIANCE DES MINERAIS, MINÉRAUX ET MÉTAUX
17 RUE DE L'AMIRAL HAMELIN - 75016 PARIS - 01 40 76 44 50
www.a3m-asso.fr