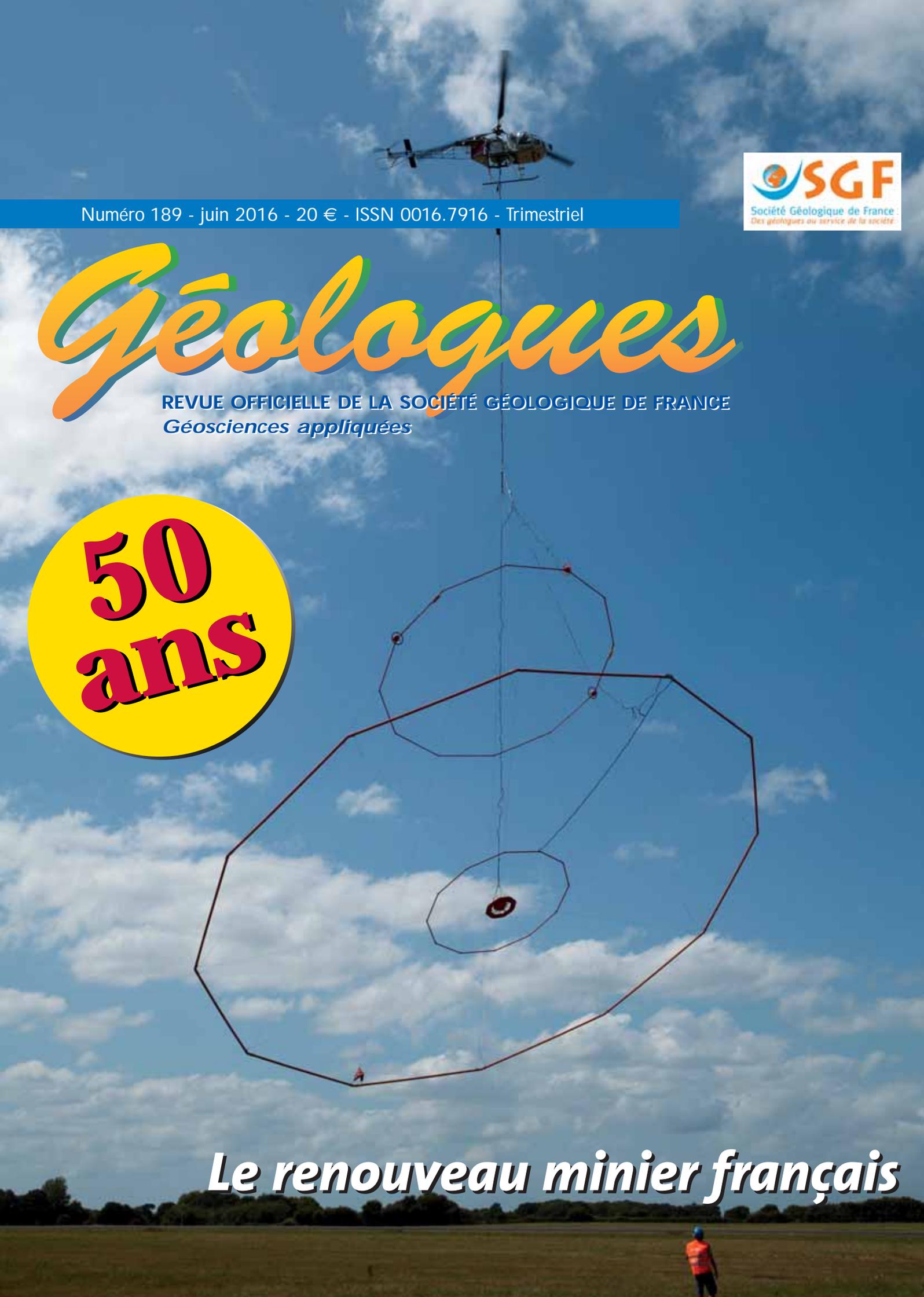


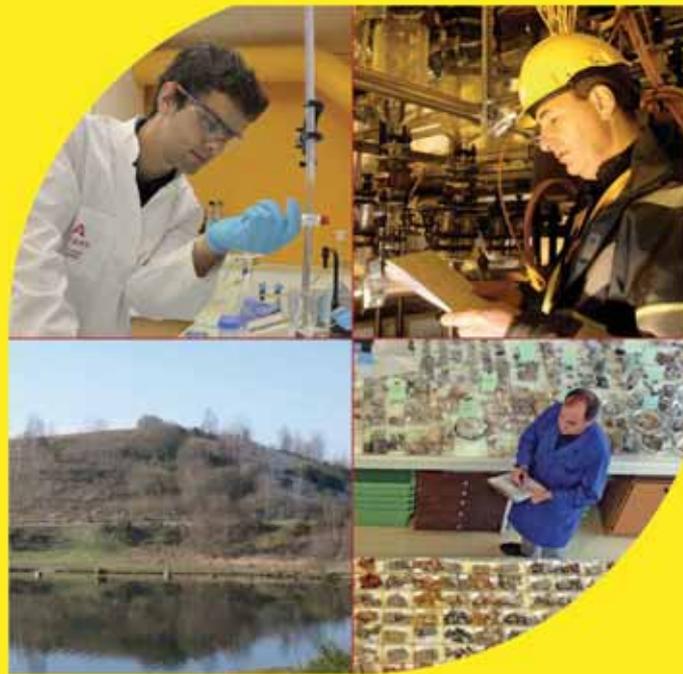
# Géologues

REVUE OFFICIELLE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE  
*Géosciences appliquées*

50  
ans



***Le renouveau minier français***



## AREVA MINES BESSINES

### UNE PLATEFORME INDUSTRIELLE DE RÉFÉRENCE

Le site minier de Bessines, en Limousin, a été dédié à l'extraction d'uranium de 1948 à 1995. Aujourd'hui totalement réaménagé selon les standards environnementaux les plus exigeants, l'ancien site minier est devenu une plateforme industrielle de référence, fondée sur l'innovation, l'énergie, le savoir, la santé et l'environnement.

#### L'établissement de Bessines est organisé en 6 entités...

- Le Centre d'Innovation Minière
- L'Après-Mines France
- Le pôle Géosciences
- L'entreposage d'uranium appauvri
- Le laboratoire Maurice Tubiana d'AREVA Med
- Le musée interactif de la mine d'uranium, Urêka

#### ... et une grande variété de métiers :

- Chargés d'affaires traitement du minerai
- Techniciens laboratoire en support des chargés d'affaires
- Ingénieurs de laboratoire
- Litholamelleur
- Responsable d'installation industrielle
- Techniciens procédés
- Responsable d'exploitation industrielle
- Ingénieurs R&D
- Responsables qualité
- Responsables suivi environnemental anciens sites miniers
- Techniciens environnement
- Conducteurs de travaux de réhabilitation d'anciens sites miniers
- Responsable analyses données
- Chef de projet en réaménagement anciens sites miniers
- Chef de projets infrastructures
- Radioprotectionnistes
- Gestionnaire du patrimoine foncier
- Gestionnaire d'exploitation du musée de la mine

## Géologues

## DIRECTEUR DE PUBLICATION :

Jean-Jacques JARRIGE

## RÉDACTEUR EN CHEF :

Marc BLAIZOT

## RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT :

Gérard SUSTRAC

## COMITÉ DE RÉDACTION :

## • SECTION GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR

Marc BRISEBARRE  
Denis FABRE  
Emmanuel MANIER

## • SECTION EAU

Jean-Pierre FAILLAT  
Anthony LEBEUX  
Lahcen ZOUHRI

## • SECTION GÉOPHYSIQUE

Antoine BOUVIER  
Christian HERISSON  
Jean-Marc MIEHE

## • SECTION SUBSTANCES MINÉRALES

Michel BORNUIAT  
Michel JÉBRAK  
Alain LIGER  
Christian POLAK  
Véronique TOURNIS

## • SECTION ÉNERGIE

Christian BOISSAVY  
Roselyne FRIEDENBERG  
Alain MASCLE  
Daniel NORMAND  
Valérie VÉDRENNE

## • SECTION ENSEIGNEMENT ET RECHERCHE

Christian BECK  
Jean-Marc MONTEL  
Cyril SCHAMPER

## MISE EN PAGE ET COUVERTURE :

COM'IN - 45000 ORLEANS

*Géologues est la revue officielle de la  
Société Géologique de France.**Géosciences Appliquées.**Association loi de 1901, fondée en 1830  
et reconnue d'utilité publique par  
Ordonnance du Roi du 3 avril 1832.*

## SIÈGE SOCIAL :

77, rue Claude Bernard - 75005 PARIS

Téléphone : 01 43 31 77 35

Télécopie : 01 45 35 79 10

E mail : [accueil@geosoc.fr](mailto:accueil@geosoc.fr)Site Internet : [www.geosoc.fr](http://www.geosoc.fr)Imprimé en France par  
CHEVILLON IMPRIMEUR  
89101 SENSCommission paritaire  
CPPAP n°0115G82626  
Tirage : 750 exemplaires  
Dépôt légal à parution

Christian Polak,

Ingénieur Géologue à Areva Mines



Marc Blaizot,

Rédacteur en chef de « Géologues »

**E**st-il vraiment revenu le temps du renouveau minier en France ? Étrange question qui peut paraître incongrue lorsque l'on connaît à la fois :

- la difficulté, comme le montrent les violences récentes contre le siège de Variscan Mines que la SGF a, à très juste titre, condamnées, de faire comprendre à nos concitoyens que nous pouvons mettre en place des mines durables et responsables ;
- la crise très importante qui frappe actuellement l'industrie minière mondiale. Les majors du secteur ont en effet perdu plus de 25 milliards de \$ en 2015 et cumulent des dettes de près de... 100 milliards. D'où des restructurations violentes avec des milliers de postes supprimés.

Mais heureusement notre industrie travaille sur le long terme, et cette crise n'est pas la première. Elle arrive après une longue période où la production de métaux s'est développée à un niveau inégalé profitant de la croissance chinoise et dépassant largement ce qui avait été produit pendant toute l'histoire minière de l'humanité !

Et les besoins du monde ont fini par percoler en... France ! Les cheminements ont été divers : la désindustrialisation du pays et son cortège de chômage en premier lieu, les craintes d'étranglement sur les métaux stratégiques, puis les travaux sur les matériaux de substitution et l'économie circulaire, démontrant les limites du recyclage ! On a découvert brusquement notre « dépendance », avouant clairement que notre belle « transition » énergétique dépend totalement des métaux chinois pour le solaire et l'éolien. Ces réflexions ont relancé cette industrie minière oubliée, elles ont mobilisé des industries éloignées et ont démontré la fragilité de l'économie française : comment un Airbus peut-il dépendre d'une petite mine de béryllium au fond de l'Utah ? Des dizaines de « petits » métaux se sont rappelés à notre souvenir, le tableau de Mendeleiev revient en force !

En conséquence, des sociétés d'exploration minières, des Junior Mining qui se comptent par milliers dans le monde, ont posé courageusement leurs pieds en France. Oui ! le sous-sol de la France n'a pas été totalement exploré et oui ! il se superpose à de riches provinces métalliques comme le montre le numéro de Géochronique diffusé en parallèle. Logiquement le débat sur l'écoconception et les émissions de CO<sub>2</sub> fait la promotion de la « locamine » : si on refuse des haricots de Tanzanie, pourquoi accepter du tungstène chinois surtout lorsqu'on sait la richesse de la France en ce métal ?

De nouvelles technologies permettent aussi de mieux connaître notre sous-sol, d'aller plus profond et de traiter des minerais plus pauvres. Quatre usines pilotes opèrent en France et développent les savoir-faire indispensables pour traiter les minerais primaires et extraire des métaux des produits du recyclage, ces gisements « secondaires » autrefois considérés comme vulgaires déchets.

La relance de la mine, ce sont aussi ces centaines de géologues et mineurs formés en France qui ont su de par le monde adapter nos métiers aux changements sociétaux. Une mine naît de nulle part, mais pas « soudainement » : des années de prospection l'ont précédée. Dès ces phases d'exploration, c'est notre devoir de transmettre nos connaissances aux populations riveraines, de prendre en compte leurs interrogations, de développer la transparence et la concertation pour que la mine s'insère dans les territoires comme premier maillon indispensable d'une longue chaîne industrielle. C'est tout l'enjeu de la réforme du code minier et du projet « Mine Responsable » : stabiliser le contexte administratif et ancrer la mine dans le développement durable.

L'industrie minière existe en Europe et reviendra en France pour faire face aux défis d'aujourd'hui car elle sera... acceptable ! comme le montre l'exemple de la Nouvelle Calédonie qui pourrait servir de modèle pour la France... entière ?

Photo de première de couverture : Géophysique héliportée (Source : Variscan Mines).

# ANNONCEURS

AREVA ..... 2<sup>ÈME</sup> DE COUVERTURE  
AIH ..... P. 48 ET 52  
GEXPLORE ..... P. 82  
IMERYS ..... 4<sup>ÈME</sup> DE COUVERTURE

## Organismes bienfaiteurs

**ACG Sol**  
acgsol@free.fr  
Site en construction

**ANDRA**  
www.andra.fr

**AREVA**  
www.aveva.com

**BRGM**  
www.brgm.fr

**COTRASOL**  
www.cotrasol.fr

**ENGIE**  
www.gdfsuezep.com

**GEOPLUS ENVIRONNEMENT**  
www.geoplusenvironnement.com

**IMS RN**  
www.imsrn.com

**LABEX VOLTAIRE**  
www.univ-orleans.fr/  
investissements-avenir/voltaire

**LUNDIN**  
www.lundin-petroleum.com

**SCHLUMBERGER**  
www.slb.com

**SOFRECO**  
www.sofreco.com

**TOTAL**  
www.total.com

## Insertions publicitaires par numéro, année 2016

Fourniture d'un fichier PDF en haute définition

4<sup>ème</sup> de couverture couleur ..... 1500 € HT

2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> de couverture couleur ..... 1200 € HT

Page interne couleur (18 x 24 cm) ..... 1000 € HT

Demi-page couleur (18 x 12 ou 24 x 8 cm) ..... 350 € HT

Quart de page couleur (12 x 8 ou 18 x 6 cm) ..... 200 € HT

## ABONNEZ-VOUS À "Géologues"

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_ N° de tél. : \_\_\_\_\_

E-mail : \_\_\_\_\_

Souhaite m'abonner pour 1 an (4 numéros) à la revue "Géologues" au tarif qui correspond à ma situation :

Tarifs d'abonnement 2016		Tarif public	Tarif adhérent SGF	Tarif adhérent d'une association partenaire*
Version Papier + version électronique offerte	France	70 €	35 €	53 €
	Étranger	82 €	48 €	65 €
Version électronique		60 €	30 €	50 €

(entourer le tarif correspondant à la version choisie ainsi qu'à votre situation)

\* Merci d'indiquer le nom de l'association partenaire de la SGF : \_\_\_\_\_

Je règle la somme de \_\_\_\_\_ €

à réception de facture, établie suite à un bon de commande

par chèque, à l'ordre de la SGF

par carte bancaire :  Visa  Eurocard-Mastercard

Nom : \_\_\_\_\_ N° : |\_|\_|\_|\_| |\_|\_|\_|\_| |\_|\_|\_|\_| |\_|\_|\_|\_|

Date de validité : \_\_/\_\_/\_\_ N° de sécurité : \_\_\_\_\_ (3 chiffres au dos de la carte)

Signature : \_\_\_\_\_

2

Expédition de la revue à l'adresse suivante :

Adresse : \_\_\_\_\_

Code postal : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_ Pays : \_\_\_\_\_

À renvoyer à : Société Géologique de France, 77 rue Claude Bernard - 75005 Paris

secretariat@geosoc.fr ☎ +33 1 43 31 77 35

## 4 IN MEMORIAM

Hommage à Georges Bigotte .....	4
<i>Christian Polak</i>	

## 5 INTRODUCTION

Regard sur cinquante ans de géologie minière : le rôle du Géologue dans une entreprise minière d'après André Poughon, "Géologues" n°1, 1966 .....	5
<i>Christian Polak</i>	

## 7 CONTEXTES MONDIAUX ET SOCIÉTAUX DU RENOUVEAU MINIER FRANÇAIS

Renouveau minier français : la stratégie de soutien et d'accompagnement des pouvoirs publics .....	7
<i>Rémi Galin</i>	
Évolutions récentes des régimes miniers dans le monde .....	12
<i>Véronique Tournis</i>	
La place de l'initiative « Mine responsable » dans le renouveau minier français .....	16
<i>Alain Liger</i>	
Approvisionnements, besoins et dépendances de la France en ressources minérales non énergétiques : situation actuelle et vision prospective .....	20
<i>Une synthèse d'Aurélié Lécureuil à partir des contributions et données du site www.mineralinfo.fr</i>	
Criticité et économie circulaire .....	24
<i>Didier Julienne</i>	
Atouts et enjeux de la filière minière française .....	29
<i>Michel Jébrak</i>	
La recherche et l'innovation en Europe : le réseau EIT Matières Premières (EIT RawMaterials) .....	31
<i>Didier Zimmermann</i>	
La recherche et l'enseignement sur les Ressources minérales en France : forces et faiblesses .....	32
<i>Michel Cathelineau et Didier Marquer</i>	
La vision de l'Alliance des minerais, minéraux et métaux (A3M) pour un renouveau minier en France .....	42
<i>Claire de Langeron et Nicolas Créon</i>	
Les attentes des investisseurs étrangers dans le renouveau minier français .....	46
<i>Pierre Levin</i>	
Les attentes de la société civile : l'exemple de l'association PPERMS autour de la mine de Salau .....	49
<i>Jacques Soucasse</i>	
Le Centre permanent d'initiatives pour l'environnement (CPIE) Loire - Anjou et son implication dans la concertation sur l'exploration minière .....	50
<i>Entretien de la rédaction de "Géologues" avec Olivier Gabory</i>	

## 53 LE POTENTIEL FRANÇAIS

Panorama des gisements et du potentiel français .....	53
<i>Éric Marcoux</i>	
Une histoire minière : « LaSource Compagnie Minière » .....	61
<i>Daniel Normand</i>	
Une spécificité minière : la valorisation de la cassitérite et de la colombo-tantalite associées au kaolin de Beauvoir (Échassières, 03) .....	65
<i>Jean-Michel Négroni</i>	
Des Terres Rares non chinoises ? Un avenir incertain .....	69
<i>Alain Rollat</i>	
Les quatre centres minéralurgiques et métallurgiques français .....	73
<i>Christian Polak</i>	
■ Le CIM (centre d'innovation minière) – Centre technique d'Areva Mines, Bessines (87250, Haute Vienne) – Une plateforme unique de traitement des minerais radioactifs .....	74
<i>Serge Rey</i>	
■ La plateforme technologique du BRGM pour le traitement des matières premières minérales et des déchets : vers une gestion efficace et durable des ressources, Orléans (Loiret, 45100) .....	76
<i>Patrick d'Hugues, Yannick Menard, Solène Touze, Catherine Crouzet, Hervé Gaboriau</i>	
■ Un nouvel hall de pilotage en continu de procédés minéralurgiques à ERAMET Research, Trappes (Yvelines, 78190) .....	78
<i>Malo Rousseau (auteur principal), Camille Goliath, Christophe Liny et Pascal Lecoarer (co-auteurs)</i>	
■ STEVAL – Une station expérimentale de valorisation des matières premières et des substances résiduelles - Vandœuvre les Nancy (Meurthe et Moselle, 54500) .....	80
<i>Lev Filippov et Robert Joussemet</i>	

## 83 STRATÉGIES ACTUELLES DES OPÉRATEURS ET ÉVOLUTION VERS LA MINE RESPONSABLE

Opérateurs miniers en France métropolitaine et Outre-mer .....	83
<i>Véronique Tournis</i>	
Le renouveau minier français vécu par la société Variscan Mines ....	84
<i>Jack Testard, président de Variscan Mines SAS</i>	
La stratégie de SUDMINE : la mine raisonnée en France – l'exemple du projet d'exploration de Kanbo (64) .....	95
<i>Christian Vallier</i>	
Le développement minier durable et novateur dans le contexte guyanais .....	99
<i>Michel Boudrie et Michel Jébrak</i>	
Bilan du Schéma de mise en valeur des richesses minières de Nouvelle-Calédonie .....	102
<i>DIMENC</i>	

## 107 EN GUISE DE CONCLUSION

La mine responsable : une nécessité d'intégration sociale, des enjeux émergents de recherche et de formation .....	107
<i>Philippe Kister, Yann Gunzburger, Michel Jébrak, Jack-Pierre Pigué</i>	

### Hommage à Georges Bigotte

Christian Polak<sup>1</sup>.

Géologues !

Cher(e)s ami(e)s, cher(e)s collègues,

il y a 50 ans naissait notre revue, votre revue, "Géologues". L'auteur de l'Éditorial du premier numéro était un grand géologue, Georges Bigotte. Pour commémorer le cinquantenaire de notre revue, Georges avait accepté de rédiger le présent Éditorial, mais la vie en a décidé autrement : il nous a quittés le 7 janvier dernier, après une longue maladie.

Un mot sur sa carrière : il était diplômé de l'ENS Géologie Nancy (1949) et Docteur ès sciences (1956). Meneur d'hommes, il a dirigé et animé, de 1956 à 1979, les équipes de géologues du CEA, puis de COGEMA qui prospectaient l'uranium dans le monde. Avec les succès que l'on connaît, notamment au Niger.

Dans les années 1960, il a été l'un des moteurs d'une petite équipe, les fondateurs de l'Union Française des Géologues. L'objectif était de faire reconnaître « le géologue » qui, jusque-là, n'était considéré que comme un amateur de cailloux ou un enseignant. « La profession de géologue » était elle-même mal connue et ses applications industrielles pratiquement ignorées du grand public. En réaction à un monde d'universitaires et de mineurs, l'équipe a voulu présenter et représenter le monde des géologues professionnels, avec un support pour s'exprimer, la revue "Géologues".

Georges a également milité pour la création d'un « Ordre des Géologues », définissant les règles de la profession et son éthique. Sans résultat. C'était pourtant une juste vision de l'avenir, car si l'Ordre n'a pas été créé en France, il s'est constitué une organisation d'experts par ailleurs dans le monde. Les *Qualified Persons* et *Competent Persons* rédigent des rapports sur l'état d'avancement de l'industrie minière : exploration, exploitation des mines, définition des ressources et réserves de minerai, sur la base de critères, de codes qui sont élaborés et discutés au sein du *Canadian Institute of Mining* et du *Joint Ores*



*Reserves Committee* de l'*Australasian Institute of Mining and Metallurgy*. Ils sont aujourd'hui des « signatures » indispensables qui s'engagent personnellement : pierres angulaires de la reconnaissance de l'industrie minière mondiale, tant morales que techniques.

Georges a aussi suggéré la création d'un Service Géologique National, dont la mission est de promouvoir la géologie nationale pour attirer les investisseurs dans un monde concurrentiel. Depuis, le BRGM, grâce à ses divers « inventaires » a fortement contribué au rayonnement de la géologie minière en France.

Enfin, pour Georges, la revue "Géologues" devait associer l'expérience des hommes de terrain, qu'ils soient universitaires ou industriels. La revue devait donc être un pont entre formation et besoins de l'industrie. Style et rédaction des articles devaient être rigoureux d'un point de vue scientifique et technique afin d'apporter des informations claires à destination des autres géologues, mais ils devaient également être accessibles à un public plus large. Ce message de Georges date d'un demi-siècle, mais il est toujours d'actualité. Dans un monde où la communication est omniprésente, les hommes de terrain et d'expérience doivent exposer avec science et passion les sujets complexes que couvrent les sciences de la Terre, en une information claire et avec la modestie de l'homme face à la nature. Aujourd'hui, c'est bien au-delà de la France qu'il faut transmettre ce message : notre revue doit être la référence dans tous les pays où les Francophones pourront s'exprimer dans leur langue.

Merci<sup>2</sup> encore à Georges, notre ami et collègue, pour toutes ces années d'action en faveur et de notre profession et de notre revue.

1. Ingénieur Géologue à Areva Mines, AE ENSG Nancy 1986

2. Je remercie le mentor de Georges, René Dars, et son grand ami, Guy Bonifas, pour la relecture de ces lignes.

## Regard sur cinquante ans de géologie minière : le rôle du Géologue dans une entreprise minière d'après André Poughon, "Géologues" n°1, 1966

Christian Polak<sup>1</sup>.

Aujourd'hui, le géologue et une entreprise minière semblent indissociables l'un de l'autre. Et pourtant, il n'en a pas toujours été ainsi. André Poughon (Ancien élève de l'ENSG 1948, puis Ingénieur géologue au CEA<sup>2</sup> en Morvan, Limousin et Vendée) soulignait dans le premier numéro de "Géologues" en 1966, que le rôle du géologue dans cette industrie était encore une nouveauté d'après-guerre. Nous en commenterons de larges extraits.

*« Les responsables de l'industrie minière française ont décidé, sous l'impulsion de conseillers clairvoyants et confiants dans les possibilités de notre sous-sol, de créer, dans les entreprises nationales, des services géologiques utilisant des géologues à temps plein. Ils rejoignaient en cela l'exemple de nombreux pays étrangers. Intéressées par les résultats heureux apportés par ces services, la plupart des sociétés privées en ont créés à leur tour et le nombre de géologues français employés dans l'industrie extractive a considérablement augmenté ces dernières années. Il dépasse actuellement 200 (en excluant les industries pétrolières bien sûr), alors qu'il n'était que de quelques unités en 1945 ! »*

On notera qu'aujourd'hui, pour les seuls anciens de l'ENSG Nancy, il y a 127 géologues qui œuvrent dans des sociétés d'extraction minières.

Le géologue d'il y a 50 ans donnait les bases du métier, mais ses responsabilités se sont démultipliées et encore plus professionnalisées.

*« Il lui incombe de délimiter les périmètres de recherche, d'entreprendre des études géologiques et tectoniques extrêmement minutieuses, pour essayer de comprendre l'histoire de son secteur d'activité et le placer dans le cadre géologique régional. Il lui faut ensuite sélectionner les zones qui lui paraissent les plus favorables, faire appel à toutes les techniques appropriées, recueillir le maximum d'indices directs ou indirects permettant de supputer la présence du minerai, vérifier par sondages ou galeries de recherche les hypothèses avancées, enfin, en cas de succès, essayer d'évaluer l'importance des gîtes, tout ceci dans le but de décider de sa mise en exploitation avec un minimum de risques. Les techniques mises en jeu sont extrêmement variées : elles comprennent des études pétrographiques, structurales, métallogéniques, géochimiques, géophysiques, statistiques, etc... Pour l'aider dans sa tâche, le géologue dispose bien sûr de laboratoires et d'équipes spécialisées,*

*mais le choix des méthodes à utiliser et l'élaboration des travaux de synthèse lui incombent en propre. Il doit donc être polyvalent et se tenir très au fait des méthodes nouvelles. ».*

Le géologue a plus qu'hier ce rôle essentiel, car son champ d'investigation s'est élargi à la corrélation de phénomènes, tant en âge qu'en distance, bien au-delà de l'échelle régionale avec la théorie de la tectonique des plaques et l'exploration des fonds océaniques qui aujourd'hui livrent des outils prédictifs, par exemple pour les « porphyry copper » (Cu, Mo, Re) ou les gisements d'ex-croûte océanique (Ni-Pt-Cr). Grâce à la géophysique, il a vu aussi son champ s'étendre en profondeur.

Le géologue ne débute pas ou plus seulement avec un marteau, **mais désormais le plus souvent à bord d'un avion assurant la liaison entre des données spatiales venues des satellites et celles issues du sol**, fournies par la carte géologique. La compréhension des grands mécanismes géochimiques de mise en place des métaux dans la croûte terrestre, ou métallogénie, a permis de nombreuses nouvelles découvertes. L'injection dans le domaine des sciences de la Terre de la gravimétrie, de l'électromagnétisme (par exemple pour la découverte des gisements d'uranium de l'Athabasca), de la chimie minérale et organique, le tout avec des données de plus en plus fines, livrent des modèles géologiques qui permettent d'anticiper, cibler, restreindre encore plus vite, les zones d'investigation.

Depuis les années 1980, la grande révolution dans les travaux scientifiques c'est l'arrivée de l'informatique et son cortège d'implications : modélisation, numérisation, logiciels et collecte d'innombrables données qui convergent et doivent converger, vers le géologue.

Dans l'approche du métier, la démarche est pourtant toujours la même mais avec un socle de connaissances beaucoup plus étendu. Cela n'oblitére pas le fait **que le géologue est toujours et restera le seul lien entre un objet naturel et la science dure** qui lui permet d'interpréter cet objet et de le comprendre.

Son métier reste un travail de terrain, son écran d'ordinateur l'aide, mais le virtuel n'est pas une fin en soi. Ce n'est pas au logiciel d'intégrer une faille au lieu d'un pli, c'est le métier du géologue. Et donc le géologue doit être au cœur de la conception des logiciels.

1. Areva Mines, AE ENSG Nancy 1986.

2. Commissariat à l'énergie atomique.

### Continuons donc avec notre fil rouge

*Ayant du personnel à diriger, il lui faut posséder de solides qualités d'administrateur. Enfin, il ne doit jamais perdre de vue la rentabilité des travaux qu'il fait exécuter. Une entreprise minière est avant tout une opération financière. Les frais de recherche doivent s'amortir lors de l'exploitation et sans grever trop lourdement cette dernière. Or, le coût des recherches croît très vite, au fur et à mesure que l'on pousse plus loin les investigations. Il est donc nécessaire de faire le point des dépenses à chaque stade des travaux et de n'entreprendre le stade suivant que si les chances de réussite sont plus grandes.*

L'exploration minière est aujourd'hui issue, pour près de la moitié de l'activité mondiale, de petites structures, les *Junior Mining*, sorte de « *start-up* » où le géologue travaille avec le financier, pour financer ses travaux auprès des investisseurs dans les places boursières. **De chef d'équipe, le géologue est ainsi devenu entrepreneur.** La pression devient très forte, la culture du risque et de la réussite lui impose de faire partie d'une organisation, d'un ordre international aux règles strictes pour être considéré, écouté, reconnu.

### Son action se poursuit dans la mine

*Le rôle du géologue n'en est pas pour autant terminé. Les premiers travaux miniers débutent généralement par l'exécution de puits et de galeries qui vont servir d'ossature à la future mine et vont également permettre une meilleure reconnaissance des zones minéralisées. Il est absolument indispensable que ces travaux soient suivis de très près, chaque jour, par le service géologique. Des levés précis sont exécutés, des prélèvements et des analyses effectués. Les renseignements ainsi recueillis permettront au géologue de compléter ses synthèses, d'ajuster les données fournies par les travaux de surface et les sondages, bref, de mieux comprendre le gisement. Enfin, la reconnaissance minière achevée, le stade de l'exploitation proprement dite commence. Là encore, le géologue a un rôle important à jouer. Grâce aux connaissances qu'il a acquises, il est à même de guider le mineur et de lui être de bon conseil. On a dit qu'une mine n'est bien connue que lorsqu'elle est exploitée. Cette boutade n'est certes pas sans fondement. Mais il est des écueils que le géologue peut prévoir. L'examen des dossiers des mines anciennes montre que, bien souvent, une étude géologique minutieuse aurait pu éviter certaines erreurs qui se sont traduites presque toujours par*

*des pertes d'argent considérables.*

Son rôle devient prépondérant aussi dans la quantification du gisement. **Les ressources se doivent d'être calculées rigoureusement, c'est le futur trésor de l'entreprise,** le début d'une histoire financière et industrielle qui repose sur les épaules du géologue. La définition des ressources est fondée sur trois bases : des informations claires, des rapports transparents sans ambiguïtés et la compétence d'une personne reconnue par son expérience et sa rigueur.

La symbiose des géologues avec les ingénieurs des mines et également les ingénieurs de traitement est encore plus forte aujourd'hui, car ils contribuent à la transformation des ressources en réserves, ce qui fait de cette trilogie, une équipe indispensable au cœur de la mine.

Ces sujets sont parfaitement d'actualité, les statistiques minières sont malheureusement là pour le démontrer. En effet, sur 56 projets de mines d'or, 25% ont périclité et, sur 41 mines souterraines, 60% avaient des réserves en deçà des attendus. Comment expliquer cela ? 17% des échecs provenaient d'une mauvaise estimation des ressources, 32% d'un mauvais design de la mine, 15% d'une mauvaise représentativité de l'échantillonnage métallurgique et 12% d'équipements inadaptés. Et seulement 7% à des sous-estimations des coûts ! Plus d'informations certes, mais trop d'informations mal interprétées (et cette problématique est permanente) : on voit bien là le rôle essentiel du (bon) géologue !

La dernière composante vient de son statut d'homme de terrain, proche des gens, de la nature dont il connaît les grands cycles géologiques et biologiques. Et aujourd'hui cet état de fait est devenu très important. C'est lui, le premier interlocuteur des populations. Il doit expliquer, traduire ses connaissances en informations claires pour faire accepter son projet par les communautés, pour que l'exploration puis l'exploitation s'inscrivent dans un développement durable avec la restitution ultime de la mine dans son environnement.

Plus encore que le passé, le géologue est un homme de synthèse multidisciplinaire qui s'impose, à travers un apprentissage de toute une vie d'expériences, assimilant des concepts et outils complexes et capable d'engager sa crédibilité en permanence et plus encore sa responsabilité fondamentale : expliquer, encore et toujours, l'industrie minière aux populations.

## Renouveau minier français : la stratégie de soutien et d'accompagnement des pouvoirs publics

Rémi Galin<sup>1</sup>.

### L'activité minière en France et son renouveau depuis 2011

L'histoire minière de la France a commencé il y a plus de 2 000 ans avec l'exploitation de quartz aurifère du Limousin par les Celtes, mais aussi des minerais d'étain du Massif armoricain et du Limousin<sup>2</sup>. Elle s'est poursuivie par une production variée au fil des siècles et plus particulièrement aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles : principalement or, argent, zinc, plomb, cuivre, fer, aluminium, étain, manganèse, tungstène, antimoine, bismuth, arsenic, cadmium, germanium, potasse, sel, fluorine, produits bitumineux, sans oublier charbon, lignite, uranium et hydrocarbures (pétrole et gaz).

Au-delà des anciennes mines, de très nombreux indices métalliques sont présents sur le territoire, comme le montre la carte de la figure 1.

L'exploitation de ce potentiel et sa valorisation au

profit de l'économie française et des territoires d'implantation de l'activité minière, et par la transformation des produits miniers, a accompagné le développement industriel français, puis a décliné à partir des années 1980. Elle s'est arrêtée pour les productions à destination des filières métallurgiques au tournant des années 2000 avec les fermetures des dernières mines de plomb-zinc, de fer, d'uranium, d'or et de charbon ; les mines de bauxite (aluminium), d'antimoine et de tungstène étaient, elles, fermées depuis les années 1980 ou au tout début des années 1990. Elle se poursuit en métropole avec l'exploitation du sel, deux petites mines de bauxite à destination de la filière cimentière et une mine de calcaires bitumineux (Fig. 2). La société Imerys, leader mondial des minéraux industriels, bénéficie d'une autorisation spéciale pour produire de l'étain, du tantale et du niobium dans sa carrière de kaolin à Échassières.

La Guyane est le seul département à connaître une activité minière significative pour l'extraction d'or. De son côté, la Nouvelle-Calédonie est le 5<sup>ème</sup> producteur mondial de nickel et détient 25 % des réserves. Depuis lors, les segments actifs de l'industrie minière en métropole sont les exploitations de granulats, de minéraux industriels et d'hydrocarbures.

L'arrêt des exploitations métalliques s'est accompagné d'un arrêt de l'exploration pour ces substances, malgré le potentiel déjà mentionné et l'effort conséquent de l'État dans « l'inventaire minier du territoire métropolitain », qui a mis à jour, dans les années 1980, de nouveaux indices. L'exploration pour hydrocarbures s'est, elle, poursuivie, avec une intensité variable dans le temps, dans les bassins sédimentaires (Bassin parisien, Aquitaine, Alsace, à un moindre degré dans le Bassin du Sud-Est ainsi qu'en offshore Iroise et plus récemment en offshore Guyane). Elle est portée par le potentiel du territoire, par les prix du pétrole, par plusieurs producteurs actifs en métropole et, dans une moindre mesure, par des entreprises souhaitant

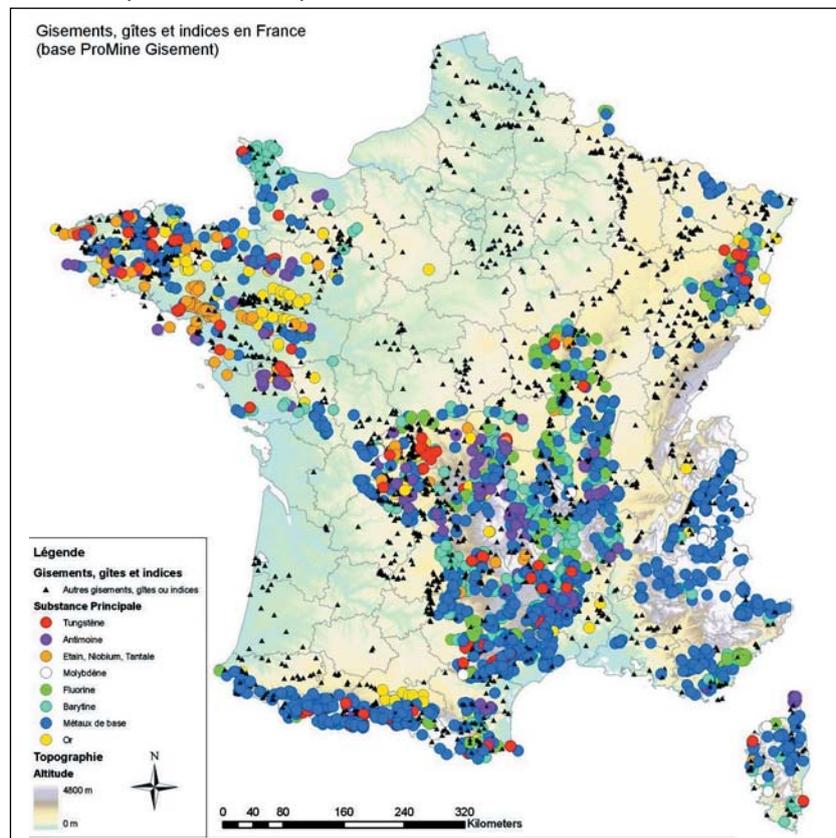


Figure 1 : Gisements, gîtes et indices miniers français d'après la base Promine Gisement.

1. Rémi Galin : Chef de bureau : Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.

2. Pierre Guiollard - L'industrie minière de l'antimoine et du tungstène - 2009.

prendre une place en France via l'exploration. Elle ne fait pas partie des objectifs de cet article.

L'intérêt de l'industrie pour l'exploration du territoire métropolitain pour des minéraux métalliques reprend en 2011, avec le dépôt, par une junior minière, Variscan Mines SAS, de plusieurs demandes de Permis exclusifs de recherches (PER) en France métropolitaine.

Ses motivations principales, affichées pour ce choix d'explorer en Europe (mais, à ce jour, concrétisé seulement en France métropolitaine), sont :

- le potentiel minier attesté par d'anciennes productions et des contextes géologiques favorables, souvent similaires à des contextes exploités ailleurs dans le monde ;
- une culture de la sécurité juridique des investisseurs ;
- la disproportion entre les 30% de métaux mondiaux consommés par l'Europe et sa part de production minière, de l'ordre de 3%, et la fragilité stratégique induite ;
- l'intérêt de l'industrie minière pour le développement des économies territoriales.

Concomitamment, l'État déploie son plan d'action sur

les approvisionnements en métaux stratégiques avec la création du Comité des métaux stratégiques (COMES – 2011) et notamment un groupe de travail dédié aux ressources primaires disponibles et aux initiatives dans le domaine de la prospection. De fait, la France montre ainsi qu'elle considère que son territoire peut à nouveau contribuer aux besoins de son industrie. Arnaud Montebourg déclarait le 19 octobre 2012 au cours d'une session plénière du COMES : « la France doit redevenir une nation minière ».

Entre 2013 et début 2016 en métropole, 8 PER avaient été octroyés pour l'or et les métaux de base : 6 à la société Variscan Mines (Merléac, Loc Enevl et Silfiac en Bretagne, Saint-Pierre, Beaulieu et Tennie en Pays-de-Loire), un à la société Imerys (Beauvoir en Auvergne) et un (Villeranges) à la société Cominor dans le Limousin. À la fin du premier trimestre de 2016, 8 demandes de PER M<sup>3</sup> sont en cours d'instruction en métropole : 5 dans le Massif armoricain, 1 dans le Massif central et 2 dans les Pyrénées.

Du côté des travaux d'exploitation, indépendamment de la poursuite de l'extraction du sel, deux projets d'ouverture de nouveaux travaux miniers se précisent pour la bauxite : Villeveyrac dans l'Hérault - société Sodicapei adossée à Vicat, et la fluorine : Antully en Saône-et-Loire, Société Garrot-Chaillac.

En Guyane, l'adoption du schéma départemental d'orientation minière (SDOM)<sup>4</sup> permettait de reprendre les instructions des demandes de permis d'exploration. Entre 2013 et la fin du premier trimestre 2016, 8 permis exclusifs de recherches ont été attribués et 21 sont en instruction. Un projet de taille mondiale, la Montagne d'Or avec la société Sotrapmag, est en développement.

### La stratégie de soutien et d'accompagnement du renouveau minier

La situation actuelle témoigne d'un regain d'activité minière qui est peu ou prou conforme à ce qui était prévisible en 2012, compte tenu des délais de montage des projets et des délais d'instruction. Sous l'impulsion du ministre chargé de l'industrie et des mines, **une stratégie a été engagée pour soutenir et accompagner ce regain d'activité**, qui contribue à la sécurité d'approvisionnement de notre industrie et est créateur

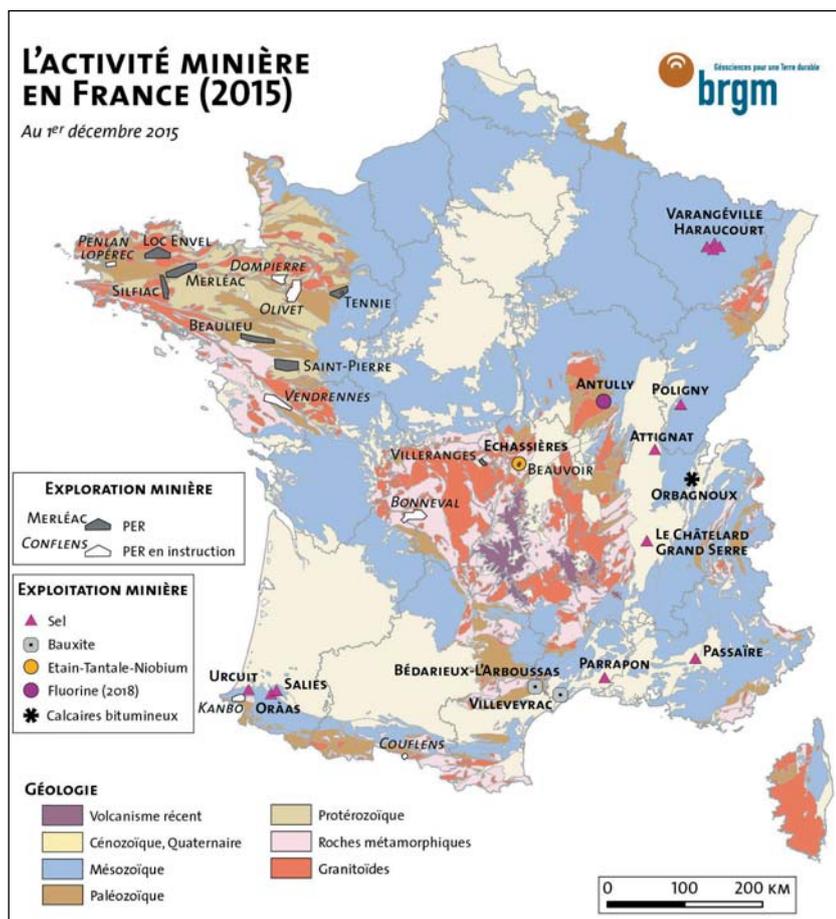


Figure 2 : Activité minière en France au 01/12/2015 d'après le BRGM.

3. PERM : Permis Exclusifs de Recherches autres que les hydrocarbures.

4. Décret n° 2011-2106 du 30 décembre 2011 portant dispositions de mise en œuvre du schéma départemental d'orientation minière (SDOM) de la Guyane.

d'emplois et de valeur pour les territoires d'implantation.

Cette stratégie a été toutefois précédée de la création et de l'adoption du SDOM, fin 2011, en Guyane, qui matérialise la volonté du gouvernement de concilier les enjeux économiques de l'exploitation minière avec les enjeux environnementaux particulièrement sensibles, alors que l'activité minière artisanale légale est solidement établie et que des projets industriels sont en développement. Le SDOM fixe les conditions générales applicables à la recherche minière, ainsi que les modalités de l'implantation et de l'exploitation des sites miniers sur la base d'un zonage précisant les secteurs ouverts et interdits à l'activité minière, tout en fixant au besoin des contraintes particulières sur certaines zones. Ce zonage, un peu comme les schémas des carrières, prend en compte la nécessité de protéger les milieux naturels sensibles, les paysages, les sites et les populations, et de gérer de manière équilibrée l'espace et les ressources naturelles. Au sein des secteurs qu'il identifie comme compatibles avec une activité d'exploitation, il fixe les contraintes environnementales et les objectifs à atteindre en matière de remise en état des sites miniers. Le SDOM s'inscrit ainsi de fait dans la stratégie d'accompagnement et de soutien à l'activité minière.

La situation métropolitaine est radicalement différente, le regain d'activité le plus perceptible concerne les demandes de permis exclusifs de recherches de métaux. Les demandes se sont concentrées autour d'anciens sites. Les populations et les élus n'ont pas tous connu la mine mais dans un nombre non négligeable de cas, il y a le souvenir douloureux de la crise sociale qui a accompagné la cessation d'activité et un passif environnemental qui peut être très lourd. Ce souvenir n'est pas très différent de celui concernant les activités industrielles qui ont cessé tout au long du XX<sup>e</sup> siècle. Il est amplifié par la très mauvaise image de la mine qui tient à de nombreux facteurs historiques et sociaux nationaux et étrangers, tout en étant compensé par l'existence de nombreux musées miniers en France.

Ces projets suscitent également de l'incrédulité tant l'opinion publique reste convaincue que les gisements sont épuisés et suspicieuse dans la capacité financière et technique des opérateurs à conduire les travaux dans le respect de l'environnement. Une partie de cette opinion rejette par ailleurs l'intérêt économique et la compatibilité environnementale de l'activité.

La méconnaissance des méthodes d'exploration et des techniques d'exploitation modernes, aujourd'hui éprouvées, de maîtrise des nuisances et des capacités à remettre les sites en état, complètent les facteurs d'inquiétude.

Enfin, mais pas des moindres, **le code minier fait lui-même l'objet de plusieurs critiques**. C'est notamment

le cas pour l'association du public aux décisions minières et de la prise en compte de l'environnement jugées insuffisantes. Les professionnels demandaient des procédures plus rapides.

Sur le plan géologique, le nombre et la richesse des points d'intérêt, en nombre de substances, ne doit pas masquer l'absence d'informations et de données nouvelles depuis l'arrêt de l'inventaire minier au début des années 1990 et une certaine méconnaissance de notre sous-sol au-delà des 300 premiers mètres et l'insuffisante visibilité des informations disponibles.

Enfin, on constatait le besoin général (professionnel, administrations, etc.) de renouveler les compétences et d'améliorer l'attractivité de la profession.

La rapide description de ce contexte montre qu'il était nécessaire d'élaborer une stratégie d'accompagnement et de soutien qui a été affinée et mise en œuvre principalement autour des deux outils de gouvernance sur les matières premières non énergétiques que sont le Comité des métaux stratégiques (COMES) et le Comité stratégique de filière des industries extractives et de première transformation (CSF IEPT)<sup>5</sup>.

## La création d'un site internet dédié aux matières premières minérales : [www.mineralinfo.fr](http://www.mineralinfo.fr)

Les premiers travaux du COMES ont permis de constater d'une part l'abondance de l'information sur le secteur des matières premières tant sur Internet que dans la presse spécialisée qu'elle soit émise par des membres du COMES (DGALN<sup>6</sup>, DGCIS<sup>7</sup>, BRGM, ADEME, fédérations professionnelles...) ou internationales (Commission européenne, Nations Unies...). D'autre part, la multiplicité des lieux de publication et la difficulté d'accès pour les entreprises, notamment les petites et moyennes entreprises (PME) et les entreprises de taille intermédiaire (ETI), ne leur permettaient, ni de convenablement tirer profit de ces informations pour anticiper des situations à risques pour leurs approvisionnements, ni d'orienter leurs choix stratégiques.

Corrélativement, les politiques publiques en matière de ressources minérales étaient également peu visibles pour les professionnels, les médias, le grand public et les élus. Le cadastre minier pour les mines non énergétiques n'était pas accessible en ligne.

**Le site Mineralinfo est venu palier ces manques en devenant le site de référence français** pour les matières premières minérales non énergétiques, primaires et secondaires. Conçu par le BRGM, financé par la dotation de service public du BRGM et le Bureau des ressources miné-

5. Le Comité Stratégique de Filière Industries extractives et première transformation regroupe les acteurs des industries minières, de carrières, de la production et de la transformation des métaux, des céramiques, du ciment, du béton et du verre. Comme tous les comités stratégiques de filières, il a élaboré un plan d'action pour renforcer la compétitivité de cette filière.

6. Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature.

7. Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services, devenue la DGE, Direction générale des entreprises, en septembre 2014.

rales, il a été conçu en moins de dix-huit mois au sein d'un groupe projet (ministères, fédérations professionnelles, opérateurs de l'État), animé par le chef du Bureau des ressources minérales.

Le site Mineralinfo (Fig. 3) présente les politiques publiques, les acteurs, les matières premières exploitées en France, les mines et carrières (réglementation et panorama de l'activité), les cartes (géologie, cadastre, schémas des carrières) et les données mondiales (cours des métaux, etc.), ainsi que la rubrique « pour comprendre » (destinée au grand public).

L'actualité, les articles à contenu économique sont traités dans des pages dédiées (actualités, Ecomine). Enfin la rubrique « dossier » rassemble par grandes thématiques, des documents à fort contenu scientifique, technique ou économique (monographies par substance, fiche de criticité, potentiel minier français).

Le groupe projet s'est transformé en comité éditorial, qui se réunit 5 fois par an et met en œuvre un plan d'action qui vise à développer le site et à maintenir la fraîcheur des informations.

### La réévaluation du potentiel minier français

La connaissance du potentiel minier métropolitain résulte principalement de l'inventaire minier conduit entre 1975 et 1992. Arrêté brutalement en 1992, cet inventaire n'a pas été complètement exploité ; il n'a pas couvert non plus toutes les zones de socle et a été focalisé sur les métaux de base et l'or. Les métaux rares, aujourd'hui critiques, n'ont pas été recherchés à l'époque.

Sous l'impulsion du COMES et sur un financement du Bureau des ressources minérales, le BRGM a retraité les données géochimiques conservées pour mieux cerner le potentiel de développement de chaque cible étudiée vis-à-vis des attentes économiques d'aujourd'hui. Dans

un deuxième temps, une centaine de points d'intérêt ont été étudiés en vue de les réévaluer. Le rapport final publié sur Mineralinfo en mars 2015 compile l'ensemble des travaux sous forme de 95 fiches techniques. **Parmi celles-ci, 7 sont jugées particulièrement intéressantes et classées en priorité 1 : Beauvain (Mo), Courcelles-Frémy (F, Ba), Egrevil (F, Ba), Fumade (W), Pierre-Perthuis (F, Ba), Salau (W) et Tréguennec (Sn, Ta, Nb, Li, Be).**

Par ailleurs, le BRGM a mis en œuvre, en 2014, le projet CADi<sup>8</sup>, avec pour objectif de mettre à disposition du public, le plus simplement et facilement possible, les données brutes de l'inventaire minier métropolitain, réalisé de 1975 à 1991. Ces données sont extraites essentiellement des archives des anciennes Divisions minières du BRGM en France métropolitaine.

Dans une première phase (2015-2016), ce sont ainsi près de 10 000 nouveaux ouvrages intéressant 275 secteurs d'exploration et prospects, qui ont pu être extraits des documents numérisés (cartes, rapports, logs et coupes de sondages, etc.), archivés par l'ancienne Division minière Vendée-Bretagne du BRGM. Elles sont désormais accessibles au public dans l'espace cartographique de Mineralinfo (rubrique Cartes et Données / choix des couches / catalogue Mineralinfo / inventaire minier / ouvrages et /ou emprise des travaux).

La France reconstitue ainsi une infrastructure minière susceptible de susciter l'intérêt de nouveaux opérateurs. Sa portée reste limitée en l'absence de nouvelles investigations. Celles-ci pourraient prendre la forme d'un programme de géophysique aérienne à l'échelle stratégique dont le budget est estimé à une quinzaine de millions d'euros.

### La réforme du code minier et les procédures d'instruction

Les dispositions législatives et réglementaires actuelles et leur mise en œuvre par les services de l'État constituent un encadrement fort de l'activité minière.

L'exploration ou l'exploitation d'une mine nécessite de disposer d'un titre minier spécifique délivré par le ministre en charge des mines (MEIN<sup>9</sup>), après instruction d'un dossier de demande et sur justification des capacités techniques et financières. Le titre minier permet la reconnaissance des droits d'exclusivité de son détenteur mais n'autorise pas l'ouverture des travaux, ceux-ci relevant d'une procédure distincte.

La prise en compte de la sensibilité de l'environnement est assurée dans la procédure d'ouverture de travaux et les prescriptions permettant de prévenir les éventuelles



Figure 3 : Portail du site [www.mineralinfo.fr](http://www.mineralinfo.fr)

8. Catalogage et Archivage des Données de l'Inventaire minier.

9. Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique.

atteintes à l'environnement sont définies dans ce cadre. L'article L 161-1 du code minier énumère de nombreux intérêts à protéger. Selon les dangers et risques qu'ils comportent, les travaux miniers peuvent faire l'objet d'une déclaration auprès du préfet, ou d'une autorisation assortie de conditions d'exploitation, accordée par le préfet après fourniture d'une évaluation environnementale par le pétitionnaire et la tenue d'une enquête publique. La demande d'autorisation de travaux miniers comprend un document indiquant, à titre prévisionnel, les conditions de l'arrêt des travaux ainsi que l'estimation de son coût.

Les dispositions relatives à la fermeture de la mine imposent à l'exploitant de prendre toutes les mesures nécessaires pour prévenir les dégâts potentiels occasionnés par l'exploitation (affaissements miniers, inondations, rejets d'effluents polluants, etc.). L'arrêt des travaux comprend des études sur les risques résiduels, l'impact hydrologique et les travaux de mise en sécurité nécessaires (stabilisation des haldes et terrils, démolition d'installations vétustes, prévention des risques de pollution des eaux, etc.).

Malgré ces dispositions et comme cela a été dit, la réforme s'imposait. Très attendue par toutes les parties prenantes, elle a fait l'objet d'une intense concertation depuis 2012 et de nombreuses consultations des parties prenantes, sous l'animation du conseiller d'État Thierry Tuot, puis de l'administration. **Un projet de loi est désormais disponible, en attente de décision de gouvernement.**

Parmi les dispositions proposées, on peut citer **l'institutionnalisation d'une phase d'échanges ouverts lors de l'instruction des titres miniers**. Elle associerait toutes les parties-prenantes du territoire pour permettre de débattre des options des projets, des enjeux environnementaux du territoire à prendre en compte et de vérifier la compatibilité de l'activité minière avec ceux-ci, avant les prises de décision par l'État. L'attribution des titres miniers prendrait mieux en compte l'environnement avec l'introduction d'un critère spécifique pour les décisions sur les titres miniers, y compris en phase d'exploration. Les travaux miniers seraient instruits, contrôlés et sanctionnés selon des dispositions parallèles à celles du code de l'environnement.

L'instruction des dossiers déposés ne pouvait toutefois pas attendre cette réforme. Dès 2012, l'association du public aux décisions était améliorée, grâce aux articles L 120-1 à L120-3 du code de l'environnement qui imposent que la participation du public à l'élaboration des projets d'aménagement ou d'équipement ayant une incidence importante sur l'environnement ou l'aménagement du territoire, soit également mise en œuvre lors de la déli-

vance des permis exclusifs de recherches de mines. Tous les permis attribués ont été soumis à cette procédure.

De manière systématique, bien que non prévu dans les textes, les préfets ont consulté les maires, à la demande du ministre chargé des mines. Pendant les phases d'instruction, les réunions publiques ou avec les élus ont été encouragées soit à l'initiative des opérateurs, soit sur demande du préfet ; l'administration centrale a participé plusieurs fois à ces réunions. Les préfets ont mis en place des commissions de suivi pour tous les permis attribués en métropole.

Depuis juin 2014, le site Mineralinfo conforte cette volonté de transparence avec une rubrique cartographique qui présente le cadastre minier avec les demandes en cours. Le site signale les actualités autour de l'instruction des titres comme les consultations du public et les attributions de titres miniers.

## Conclusion : vers un nouveau modèle minier français

Comme toute industrie, l'exploitation minière n'a de sens que lorsqu'elle s'inscrit dans un projet de développement durable des territoires. Les cadres législatifs et réglementaires même rénovés ne peuvent garantir l'atteinte de cet objectif. C'est pourquoi le ministre de l'économie, de l'industrie et du numérique, ministre en charge des mines, a engagé une concertation avec l'ensemble des acteurs économiques, institutionnels et associatifs afin de concrétiser le concept de « Mine responsable » défini dans la Stratégie nationale pour la transition écologique et le développement durable (SNTEDD) 2015- 2020, adoptée en Conseil des ministres le 4 février 2015.

Cette démarche complémentaire de la réforme du code minier, est détaillée dans ce numéro à travers l'article d'Alain Liger sur la **mine responsable**. La production technique, écrite et actualisée à l'occasion, sera publiée sur Mineralinfo ; elle viendra ainsi répondre aux besoins légitimes d'information des parties prenantes des projets miniers et contribuera à l'établissement d'un dialogue territorial.

Les pouvoirs publics ont pris pleinement conscience que le regain d'intérêt pour le domaine minier français devait être soutenu par une stratégie pragmatique visant à favoriser un dialogue ouvert et éclairé entre les parties prenantes, susciter l'intérêt des opérateurs miniers, rénover le cadre juridique et alimenter les décideurs, les médias et l'opinion publique en informations neutres et objectives autour des enjeux des ressources minérales.

## Évolutions récentes des régimes miniers dans le monde

Véronique Tournis<sup>1</sup>.

L'article publié dans le n° 152 de *"Géologues"* « Principes de législation minière » (Tournis V., Rabinovitch M., 2007) exposait les principes des différents régimes miniers dans le monde. Un régime est défini comme l'ensemble des règles juridiques permanentes et des procédures de prise de décision qui encadrent une activité déterminée. Cette définition n'est plus suffisante ; « un régime doit traduire de façon explicite ou implicite des normes et des principes précis : « une philosophie », qui fondent sa légitimité » (Gagné-Ouellet S., 2013). En découleront alors les normes et les règles qui encadrent les actions des différents acteurs impliqués dans l'activité concernée.

**Les codes miniers ont subi des réformes majeures pendant ces 20 dernières années.** Ces révisions récentes montrent une évolution juridique guidée par deux préoccupations : le développement socio-économique du pays et une quasi « obligation morale » d'atténuer les impacts environnementaux et sociaux du développement des ressources naturelles.

Une « quatrième génération » (Besada H., Martin P., 2013), de codes miniers, intégrant ces préoccupations, se développe à travers le monde<sup>2</sup>. Elle est influencée par la mobilisation d'acteurs privés ou publics (organisations régionales, société civile, institutions internationales<sup>3</sup>, ONG<sup>4</sup>, industries<sup>5</sup>, gouvernements<sup>6</sup>, institutions financières<sup>7</sup>, organismes de normalisation et de certification), sur les principes de gouvernance des ressources naturelles et de développement économique durable. Les acteurs non-étatiques jouent un rôle important dans l'évolution des normes et des règles de transparence et de responsabilité, rôle renforcé par les pressions qui peuvent s'exercer sur les entreprises et/ou les États. Les entreprises peuvent engager des initiatives volontaires, par exemple en s'imposant des processus de reporting<sup>8</sup> de leur performance économique, sociale et environnementale. Les états établissent ou renforcent les règles juridiques contraignantes, influencées par ces processus.

### Les quelques principes qui ne changent pas

**Dans la plupart des pays, l'État est propriétaire de toutes les ressources du sous-sol.** Les produits du sous-sol, minéraux et substances, y compris ceux couverts par les eaux territoriales océaniques, sont la propriété inaliénable de l'État. Dans certains cas, comme aux États-Unis, les droits sur le sous-sol des terrains privés appartiennent aux propriétaires. Dans tous les cas un contrat ou une licence d'exploration ou d'exploitation ne transfère pas la propriété des ressources du sous-sol.

**L'État octroie le droit d'explorer et d'exploiter** les ressources minérales, même si dans certains cas il peut exploiter lui-même les ressources minérales dont il est le propriétaire.

**Les droits fonciers et les droits pertinents aux ressources minérales** sont généralement distincts quand il s'agit des ressources minérales métallifères (notion de ressources « concessibles ») et confondus pour les substances tels que les minéraux industriels et les matériaux de construction (ressources « non-concessibles »). Les Codes miniers de chaque pays précisent la liste de ces ressources. Lorsqu'une entreprise a obtenu les droits nécessaires à ses activités minières, elle doit encore parvenir à un accord avec les propriétaires du terrain se trouvant au-dessus du dépôt pour disposer du droit d'utiliser le dit terrain.

### Les changements dans les grands principes du droit minier ou la gouvernance des ressources naturelles au XXI<sup>e</sup> siècle

#### La volonté de transparence

Elle s'adresse prioritairement à l'économie des États et aux activités des entreprises. Elle dicte de nombreuses obligations financières, commerciales, organisationnelles et techniques.

1. Véronique Tournis : vtournis@wanadoo.fr Remerciements à Patrice Christmann (BRGM) pour sa contribution à cet article.

2. Le terme de quatrième génération de codes miniers intégrant ces mécanismes de responsabilisation, aurait été appliqué pour la première fois aux réformes des codes miniers des pays Africains ; leur naissance est concomitante avec l'initiative minière mondiale de 1998 (rapport de l'Institut national de la statistique - INS, 2013).

3. Ex. Nations Unies, pacte mondial de l'ONU et les 17 objectifs de développement durable signés par les Etats membres en septembre 2015.

4. Ex. la Global Reporting Initiative (rapportage de la performance de développement durable), Transparency International (lutte contre la corruption), Global Witness, la Charte des ressources naturelles rédigée par un groupe de 30 experts internationaux, présente douze « préceptes » volontaires visant à éclairer et guider les pays en développement sur la gestion des ressources naturelles et l'Initiative for Responsible Mining Assurance, (IRMA).

5. Ex. le Conseil International des Mines et les Métaux (CIMM), né en 2001 de l'Initiative minière mondiale (GMI), fédère 23 grands groupes miniers et 34 fédérations industrielles. Ses membres s'obligent à améliorer leur performance de développement durable et à publier les avancées réalisées. Aucune entreprise ou association chinoise ne fait partie du CIMM.

6. Ex. l'ITIE et les principes volontaires sur la sécurité et les droits de la personne ([www.eiti.org](http://www.eiti.org)).

7. Ex. les Principes de l'Équateur et la Société financière internationale (SFI ou IFC groupe banque mondiale) en matière de durabilité environnementale et sociale (version 2012) et Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour l'exploitation minière (2007).

8. Publication de rapports de responsabilité sociale et environnementale (RSE) et mise en place de procédures de type « Global Reporting Initiative » et/ou ISO 26 000.

L'initiative relative à la transparence des industries extractives (ITIE), lancée en 2002, est un engagement volontaire international, grâce auquel les paiements versés par les entreprises et les recettes gouvernementales générées par les industries extractives sont publiés dans des rapports vérifiés de manière indépendante. Elle se traduit par la participation des États (à ce jour, 51 pays sont adhérents) ainsi que des entreprises, avec 90 des plus grandes entreprises du secteur, **31 pays sont en conformité avec l'ITIE, 18 en cours d'homologation et 2 sont suspendus**. La France a présenté sa candidature fin 2015, pour une adhésion en 2017.

Certaines législations nationales viennent renforcer cette démarche par une surveillance juridique accrue sur la transparence des activités commerciales. Le Bribery Act (UKBA), au Royaume-Uni, est une des plus sévères dispositions de **lutte contre la corruption**. Aux États-Unis, le Dodd-Frank Act établit des règles<sup>9</sup> de transparence commerciale et de vigilance pour ne pas s'approvisionner en **minéraux et métaux issus de conflits**. Ces minéraux et métaux sont la cassitérite, le coltan<sup>10</sup>, la wolframite et l'or. Le mécanisme de certification régionale de la CIRGL<sup>11</sup> qui regroupe les gouvernements de la région des grands lacs, fournit dès 2006, un protocole contre l'exploitation illégale des ressources naturelles liées aux zones de conflit. En 2011, l'OCDE publie des lignes directrices, actualisées en 2013<sup>12</sup>, à l'intention des entreprises sur le devoir de diligence pour des chaînes d'approvisionnement responsables en minerais provenant de zones de conflit ou à haut risque. Un vote du Parlement européen propose un mécanisme obligatoire de certification des importations de ces minéraux (voté en mai 2015). À ce jour, le Conseil européen, représentant les États membres, s'y oppose. Ce blocage dure depuis près d'un an. Le processus de Kimberley, cherche à lutter contre le commerce des diamants de la guerre par un système de certification et de sanctions.

Si le principe de ces initiatives est louable, leur mise en œuvre est très complexe, des doutes persistants demeurent quant à la fiabilité des processus de certification<sup>13</sup>.

### La montée des préoccupations environnementales, la responsabilité environnementale

Le droit de l'environnement se développe ; plusieurs États se sont dotés d'un code de l'environnement et des normes internationales encadrent l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) dont l'obligation se généralise, renforcée dans le plan de gestion de l'environnement (PGE). C'est l'État propriétaire du sous-sol qui garantit la prise en compte des problèmes environnementaux, il a un droit de regard sur l'activité et celui de sanctionner les abus. La loi peut exiger que soient démontrées les capa-

cités techniques et financières d'assumer la responsabilité d'un accident majeur (dans le domaine des hydrocarbures en particulier). Elle prévoit également, dans plusieurs pays, la constitution d'une garantie financière destinée à couvrir les coûts de réhabilitation et de suivi environnementaux de la phase après-mine des projets miniers. Un principe phare du droit de l'environnement, le principe de prévention monte en puissance dans les pays de l'OCDE, en rupture avec l'approche curative du pollueur payeur. Mais cette amélioration des pratiques de l'industrie minière a une portée limitée vu le poids de la Chine dans l'industrie minière mondiale. Bien qu'elle soit le premier producteur mondial de plus de 40 matières premières minérales, les pratiques de ses sociétés ne s'inscrivent que de manière encore limitée dans le cadre décrit ici.

Le principe de prévention se traduit pour un projet par l'obligation de procéder à un ensemble d'évaluations avant qu'il puisse être autorisé, l'établissement des normes et des sanctions qui les accompagnent, des mécanismes incitatifs à prendre des mesures préventives et aussi la possibilité d'interdire le projet.

### La prise en compte du caractère unique des ressources minérales non renouvelables

Ce caractère est maintenant pris en compte pour estimer la priorité de l'exploitation minière par rapport à d'autres types d'utilisation du territoire. L'évaluation du secteur minier comme moteur du développement économique du pays et des communautés locales passe aussi par une comparaison en concurrence avec les autres industries et autres sources de revenus des entreprises, gouvernements et citoyens du pays détenant les ressources.

### La responsabilité sociale et environnementale de l'entreprise (RSE), dans les industries extractives

Plusieurs pratiques de RSE existent, selon les pays et les continents. Le couple ISO 26 000/ Global Reporting Initiative (GRI)<sup>14</sup> forme le cadre de référence utilisé par les principales sociétés minières et métallurgiques. Le standard ISO 26 000 prescrit l'organisation de la RSE au sein de l'entreprise, alors que la GRI prescrit les indicateurs et la méthode de rapportage, les deux organismes collaborant étroitement. 171 entreprises, dont les principales entreprises des pays de l'OCDE et 6 entreprises chinoises ont, au titre de l'année 2013, publié un rapport RSE conforme à ces lignes directrices. De nombreux développements existent : RSE du secteur minier dans les pays de la Francophonie, RSE du gouvernement du Canada pour les sociétés extractives canadiennes à l'étranger, RSE de l'Australian Minerals Industry intitulé *Enduring Value* et récemment

9. Règle relative à la section 1502 (2012) : de diligence raisonnable dans les chaînes d'approvisionnement pour ne pas s'approvisionner en minéraux issus de conflit (en anglais) et Règle relative à la section 1504 (2012) : transparence des entreprises extractives sur les paiements effectués aux gouvernements (en anglais).

10. Association de colombite et de tantalite d'où est extrait le nobium.

11. Conférence internationale sur la région des Grands Lacs (CIRGL).

12. Disponibles en français ici : <http://www.oecd.org/fr/daf/inv/mne/GuideEdition2.pdf>

13. Voir par exemple : <http://america.aljazeera.com/watch/shows/fault-lines/articles/2015/11/14/are-intels-microprocessors-really-conflict-free.html>

14. [www.globalreporting.org/resourcelibrary%20French-How-To-Use-the-GRI-Guidelines-In-Conjunction-With-ISO26000.pdf](http://www.globalreporting.org/resourcelibrary%20French-How-To-Use-the-GRI-Guidelines-In-Conjunction-With-ISO26000.pdf)

une approche préventive plus généralisée se dégage.

Les impacts sociaux au niveau local peuvent être très différents de ceux pris en compte au niveau national (ou international) et créer des tensions, des conflits, des difficultés. Les entreprises respectent les lois en vigueur et sont invitées à adhérer aux instruments, normes et principes internationaux<sup>15</sup>, outils que la RSE met à disposition. La pratique RSE est aussi un outil de dialogue, devant notamment permettre entre parties prenantes du projet minier de se parler, d'identifier leurs difficultés respectives et de créer un climat de confiance pour un développement harmonieux.

Il existe déjà de nombreux processus d'entente, les ERA<sup>16</sup> développées au Canada, visent à s'assurer de la collaboration et du consentement des communautés concernées en échange de compensations financières.

Des codes de conduite volontaire concernant la sécurité et les droits de la personne dans le secteur de l'extraction mettent l'accent sur l'évaluation des risques ainsi que les relations avec la sécurité publique et privée. Le Pacte mondial des Nations Unies (Coumans C., 2010), dresse une liste de dix « principes universellement acceptés » dans les domaines du droit de la personne, du travail, de l'environnement et de la lutte contre la corruption pour améliorer les pratiques commerciales des sociétés qui exercent leurs activités sur la scène internationale.

### Des principes cependant difficiles à changer

Les économies qui dépendent de l'exploitation minière sont assez nombreuses, elles seraient passées de 46 à 61 entre 1996 et 2011 et toujours en croissance. Certains de ces pays sont parmi les plus pauvres du monde tandis que d'autres se trouvent parmi les plus riches. De ce fait leur législation minière n'est pas fondée sur les mêmes principes suivant que le pays souhaite favoriser les investissements étrangers, stimuler la croissance économique et permettre à l'État de détenir les devises étrangères ou augmenter les royalties et la part de l'État dans les contrats de partage.

Le rôle joué par la société civile mondiale dans l'élaboration de politiques de gouvernance des ressources est indéniable et ces initiatives peuvent représenter des avancées significatives. Cependant leur efficacité reste encore limitée ; elles sont abondantes et pas toujours compatibles ; certaines ont pu conduire au résultat inverse de celui espéré.

Elles ne sont pas non plus jusqu'ici très contraignantes. La mise en œuvre de principes bien intentionnés dépend beaucoup de la bonne volonté de ceux qui les adoptent. Les pays qui dépendent fortement des investissements étrangers n'ont pas toujours la force de s'y tenir. L'importance du secteur minier dans l'économie du pays concerné, la volonté d'attirer des investissements étrangers peut parfois s'opposer à « *l'exploitation transparente, équitable et optimale des ressources minières en tant que fondement d'une croissance durable et d'un développement socio-économique généralisé* ».

La Vision minière pour l'Afrique (VIMA), est une initiative récente des États africains, de l'Union africaine (UA) et de l'UNECA<sup>17</sup>, formalisée lors du Sommet de l'UA de 2009. Elle poursuit l'objectif ultime de réduire la dépendance économique des États africains aux exportations de ressources primaires. Sorte de « *Voix commune* » des États africains pour accroître le pouvoir de ses négociateurs partout sur le continent, la VIMA est décrite comme une réponse à « l'échec » des politiques du consensus de Washington<sup>18</sup> et au retour de « l'état-promoteur ». La VIMA est reconnue comme l'un des cadres de développement des ressources minières en Afrique les plus importants, sur lequel sont fondés de nouveaux espoirs.

Plusieurs gouvernements africains ont revu ou revoient leurs contrats miniers parce qu'ils pensent ne pas avoir pu ou su tirer le meilleur parti des superprofits de la décennie écoulée (avant 2012) ; *Ghana (2014), Angola (2011), Guinée (2012), Mali (2012), Côte d'Ivoire (2014), Mozambique 2014, Burkina Faso (2015), Maroc (2015), Sénégal et Kenya (2016, processus en cours)* ont adopté de nouveaux régimes miniers qui visent à renforcer la protection de l'environnement et la contribution des mines au développement des communautés locales. Le code minier du *Gabon (2015)* a surtout vocation à renforcer les revenus de l'État. La *RD Congo* est dans un processus difficile et controversé de révision du code de 2002 comme l'est la version révisée du code minier *malgache (mars 2016)* qui fait craindre un désintérêt des investisseurs, surtout vu la chute des cours des matières premières minérales, depuis 2014.

D'autres gouvernements comme ceux du *Mexique*, de *Australie* et du *Québec*, ont annoncé des modifications de leurs régimes fiscaux dans le but de tirer un meilleur profit de la rente des ressources, et le Parlement *indonésien* a interdit l'exportation de ses latérites nickelifères dans le but de les voir valorisées dans le pays. La nouvelle loi fédérale *russe*<sup>19</sup> « *sur les procédures pour les investissements étrangers dans les entreprises d'importance*

15. Norme ISO 26000

16. Ententes sur les répercussions et les avantages (ERA) - [www.miningfacts.org/](http://www.miningfacts.org/)

17. United Nations Economic Commission for Africa (Commission économique des Nations-Unies pour l'Afrique).

18. Le programme du consensus de Washington comportait une privatisation des sociétés d'État, la fin des restrictions relatives à la propriété étrangère, une diminution des taux d'imposition et des redevances, la réforme du droit du travail afin d'assurer une « souplesse » accrue, et la fin des exigences liées à l'embauche et à l'approvisionnement local (Szablowski, 2007).

19. A new Federal Law « On Procedures for Foreign Investments in Companies of Strategic Significance for National Defense and Security ».

*stratégique pour la Défense Nationale et la sécurité* » impose des restrictions aux investisseurs étrangers qui cherchent à acheter des actions ou à acquérir le contrôle de sociétés russes, jugées stratégiques. Le Japon en 2012 a adopté le « *Mining amendment Act* » à la fois pour encadrer le développement de ses ressources naturelles (en particulier l'exploration) et pour stimuler et favoriser son propre tissu industriel, au moment où les progrès et innovations technologiques rendent son secteur minier bien plus attrayant, en particulier dans la zone maritime. L'Inde réforme sa législation minière « *the bill* » et fait entrer les communautés locales dans l'actionnariat des sociétés qui détiennent les droits.

## D'autres changements : les nouveaux codes élargissent leurs compétences à d'autres domaines.

Dans certains pays, les nouveaux codes miniers élargissent leur champ de compétences au domaine maritime, aux cavités souterraines et **aux « déchets » miniers et métallurgiques.**

Au sein de l'Union Européenne, ces déchets font l'objet de la Directive UE 2006/21, l'Union n'ayant pas la compétence juridique pour développer un code minier européen. Ce sujet reste de la compétence des États membres.

La géothermie, les eaux minérales (par exemple au Mozambique) peuvent être intégrées dans le code minier, qui devient alors un véritable code du sous-sol.

Une nouveauté majeure cependant vient des *États-Unis*. Le président américain Barack Obama a signé « *the US Commercial Space Launch Competitiveness Act, 2015* » qui vise à faciliter l'exploitation minière dans l'espace et encourage ainsi l'exploration et l'utilisation commerciale **des ressources des... astéroïdes !**

## Bibliographie et pour aller plus loin

- Besada H. et Martin P., 2013. Les codes miniers en Afrique : la montée d'une « quatrième » génération ? INS Rapport de recherche. [www.nsi-ins.ca/wp-content/uploads/2013/04/mining-codes-in-africa-emergence-of-a-fourth-generation-hany-besada\\_fr.pdf](http://www.nsi-ins.ca/wp-content/uploads/2013/04/mining-codes-in-africa-emergence-of-a-fourth-generation-hany-besada_fr.pdf)
- CIRGL [www.pacweb.org/Documents/icglr/Note\\_documentaire\\_mecanisme\\_certification\\_regional\\_CIRGL\\_oct\\_2012.pdf](http://www.pacweb.org/Documents/icglr/Note_documentaire_mecanisme_certification_regional_CIRGL_oct_2012.pdf)
- Coumans C., 2010. Alternative Accountability Mechanisms and Mining: The Problems of Effective Impunity, Human Rights, and Agency. *Canadian Journal of Development Studies* 30: 1-2, 27-48.
- Dodd-Frank Act [www.pwc.com/ca/en/industries/mining/publications/conflict-minerals-section-1502-dodd-frank-act.html](http://www.pwc.com/ca/en/industries/mining/publications/conflict-minerals-section-1502-dodd-frank-act.html)
- EITI extractive industries transparency initiative. Norme ITIE Version révisée au 15.2.2016 © EITI 2016. Édité par Rogan D., [www.eiti.org](http://www.eiti.org)
- Gagné-Ouellet S., 2013. Révision du cadre réglementaire et reforme du régime minier malien : quel degré de rupture et de continuité ? Université du Québec à Montréal [www.archipel.uqam.ca/5470/1/M12785.pdf](http://www.archipel.uqam.ca/5470/1/M12785.pdf)
- Hilpert H. G., Mildner S. A., 2013. Fragmentation or Cooperation in Global Resource Governance? A Comparative Analysis of the Raw Materials Strategies of the G20 - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Berlin, Germany), [www.swp-berlin.org/en/publications/swp-research-papers/swp-research-paper-detail/article/raw\\_materials\\_strategies\\_of\\_the\\_g20.html](http://www.swp-berlin.org/en/publications/swp-research-papers/swp-research-paper-detail/article/raw_materials_strategies_of_the_g20.html)
- Mécanisme de certification des importations : [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/548985/EPRS\\_BRI\(2015\)548985\\_REV1\\_FR.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/548985/EPRS_BRI(2015)548985_REV1_FR.pdf)
- Processus de Kimberley, 2002. Système de certification, [www.kimberleyprocess.com](http://www.kimberleyprocess.com)
- Tournis V. et Rabinovitch M., 2007. « Principes de législation minière ». « *Géologues* » n° 152, mars 2007, 14-24.
- UKBA [www.legislation.gov.uk/.../ukpga\\_20100023\\_en.pdf](http://www.legislation.gov.uk/.../ukpga_20100023_en.pdf)
- VIMA, 2011. Plan de mise en œuvre, [www.africaminingvision.org/pr1-fr.html](http://www.africaminingvision.org/pr1-fr.html) et [www.ecdpm.org/publications/vision-inclusive-developpement-afrique-partir-industries-extractives/](http://www.ecdpm.org/publications/vision-inclusive-developpement-afrique-partir-industries-extractives/)

## La place de l'initiative « Mine responsable » dans le renouveau minier français

Alain Liger<sup>1</sup>.

### Introduction

Avant « Mine responsable », les premiers actes du renouveau minier français sont industriels.

Le potentiel minier du territoire métropolitain est attesté par une production variée depuis l'Antiquité et plus particulièrement aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. On en trouvera une carte synthétique ainsi que plus d'informations sur le potentiel minier et les explorations récentes dans les articles d'Eric Marcoux et de Rémi Galin dans ce numéro de "Géologues".

L'arrêt des exploitations métalliques s'est accompagné d'un arrêt de l'exploration pour les métaux, *de facto* inactive depuis les années 1990. L'absence d'exploration dans un contexte favorable sur le plan géologique et élaboré sur le plan juridique, dans un pays dont l'industrie était devenue presque totalement dépendante des importations, allait créer un appel d'air pour de nouveaux entrants.

En effet, dans un contexte général marqué, dès les années 2000, par la montée des prix des matières premières minérales et la dépendance européenne, et plus particulièrement française, très marquée vis-à-vis des métaux stratégiques pour l'industrie nationale (voir les articles d'Aurélien Lécureuil et de Didier Julienne dans les pages qui suivent), de **nombreuses demandes de permis exclusifs de recherche de métaux** (en particulier par Variscan Mines) **voient le jour à partir de 2011**.

### Demandes de permis et acceptabilité locale

Le nombre important de demandes et le retour d'expérience de l'instruction des demandes de PER<sup>2</sup> posaient pour le Ministre de l'industrie, chargé des mines, la question de l'acceptation locale d'une industrie absente des territoires depuis longtemps et par ailleurs perçue à l'aune des impacts négatifs des mines du passé. La plupart des grands bassins miniers français ont en effet cessé leur activité (menée par des sociétés propriétés de l'État) **en laissant des sites présentant des atteintes fortes et durables à l'environnement**, et cette fin d'activité s'est accompagnée de sinistres économiques, malgré les programmes de revitalisation lancés avec des budgets importants. La fermeture de plus petites mines dans des zones rurales n'a pas non plus

été accompagnée de développements économiques.

Cependant, ces nombreuses petites mines métalliques ont apporté, pendant la durée de leur exploitation, de l'emploi et du développement dans de nombreuses zones rurales françaises, et leur fermeture a souvent laissé peu de traces physiques ; ces mines n'ont pas stérilisé le territoire, dont les acteurs ont pu développer ensuite de nouvelles activités, y compris touristiques. Cet exemple tendrait à montrer qu'une compatibilité était envisageable.

Plusieurs exemples de nouveaux développements miniers en Europe montraient également la possibilité de coexistence d'activités minières et de sites environnementaux sensibles ; des initiatives internationales tentaient de mieux cerner les conditions d'exercice de cette compatibilité.

***Il apparut très vite que l'adoption de principes de responsabilité environnementale et sociétale serait une condition nécessaire de l'insertion des opérations minières dans les territoires.***

Les premiers travaux d'exploration par les titulaires étaient peu invasifs : relevés géologiques des périmètres attribués ; campagnes de géochimie des sols à large maille ; levés de géophysique à large maille. Parallèlement, avec le soutien ou la collaboration des préfetures, des réunions de contact avec les populations des zones concernées étaient menées afin d'expliquer plus en détail les stratégies d'exploration et de préparer des contacts pour obtenir des autorisations de prélèvement sur des propriétés privées que sont tout champ, pré, ou plus généralement tout élément parcellaire de la campagne française (contrairement à une affirmation très répandue, qui induit des craintes inutiles, l'explorateur minier ne dispose pas d'une prérogative automatique pour pénétrer sur les propriétés privées). Cette stratégie de contacts confirmait, sur plusieurs des zones d'exploration, **la difficulté d'image de l'industrie minière** déjà apparente dès l'instruction locale des demandes de PER.

L'ensemble de ces éléments appelait une concertation plus large sur la compatibilité entre les développements miniers potentiels – et bien loin d'être certains – et les territoires, allant au-delà des contacts naturels et indispensables pour chaque projet entre les opérateurs, l'administration locale et les représentants des territoires.

1. Ingénieur général des mines honoraire, ancien président du Comité de pilotage « Mine responsable » : liger.alain@wanadoo.fr

2. PER Permis exclusif de recherches.

## Le lancement du projet « Mine responsable »

Emmanuel Macron, ministre de l'industrie, chargé à ce titre des mines, se fixait alors l'objectif de « définir, au-delà des obligations réglementaires, un partenariat État/Entreprises au service d'un nouveau modèle minier français, faisant de l'activité minière un projet de territoire : la « mine responsable ». Pour cela, il invitait des représentants des élus nationaux et locaux, du monde économique, des ONG et de l'administration à constituer un Comité de pilotage de l'action, constitué de représentants des élus nationaux, des Collectivités territoriales, d'ONG, des entreprises du secteur, des salariés et de l'État, ainsi que d'organismes qualifiés dans ce secteur (BRGM, INERIS<sup>3</sup>, Chaire « Mine et société »<sup>4</sup>). Le Bureau de la gestion et de la législation des ressources minérales non énergétiques (DEB/GR2<sup>5</sup>) en assurait le secrétariat, et l'auteur de ces lignes, à cette époque membre du Conseil général de l'économie, le présida jusqu'à février 2016.

La présence personnelle du Ministre Macron à la première séance du Comité de pilotage, le 1<sup>er</sup> avril 2015, traduisait l'importance de la démarche.

Le champ de l'initiative était clairement défini : elle porterait sur les matières premières minérales non énergétiques. Cette définition permettait de concentrer les débats sur une catégorie d'opérations techniques assez homogènes relevant de la seule autorité du ministre chargé des mines (les substances énergétiques relèvent en effet de l'autorité conjointe des ministres chargés respectivement des mines et de l'énergie, différents depuis 2007).

Le champ géographique proposé était la France métropolitaine, avec une déclinaison possible par les acteurs guyanais ; une séance ultérieure du Comité de pilotage intégra complètement la Guyane au dispositif, y compris son artisanat minier, en prévoyant une séance spécifique pour aborder ses enjeux de développement responsable dans un contexte naturel, mais aussi sociétal, très différent de la France métropolitaine.

Les « **livrables** » de l'action étaient simultanément définis comme suit, selon les objectifs proposés par le Ministre lors de la séance initiale :

- un **livre blanc** (description pédagogique/éducative d'un projet minier, des différentes phases d'un tel projet, des techniques employées, des moyens d'éviter, réduire ou compenser les impacts) ;
- une **convention d'engagement volontaire** de la profession de l'industrie minière signée par la ministre chargée de l'écologie et le ministre chargé des mines ;

- une **fiche d'engagement** annexée à la convention pour matérialiser l'adhésion des opérateurs ;
- les **modalités de gestion et de suivi de la convention**.

## Le déroulement du travail

Faire le point sur les techniques, objet de la rédaction du livre blanc, s'est révélé une tâche très prenante pour le calendrier de l'action. Il existe certes des ouvrages d'exploitation minière, mais l'objectif était, comme indiqué ci-dessus, **une description « pédagogique/éducative »**. Le travail s'est déroulé dans une **commission technique** avec une trentaine de participants, selon les modalités suivantes :

- la vie d'un projet minier a été découpée en phases successives : 1) Exploration minière ; 2) Étude économique et dimensionnement de la mine ; 3) Exploitation du gisement ; 4) Réhabilitation du site et surveillance après-mine ; 5) Adaptation du concept à la Guyane ;
- une réunion a été programmée pour chacune de ces phases, ainsi qu'une réunion complémentaire sur le « modèle français de la mine responsable » lui-même ;
- pour chaque réunion, le travail était préparé par un projet rédigé par le BRGM, l'INERIS ou la Chaire « mine et société », selon le cas ; ce projet était mis à disposition, en principe une dizaine de jours avant chaque séance, sur un extranet mis en place sur [www.mineralinfo.fr](http://www.mineralinfo.fr) ;
- les participants étaient invités à mettre en ligne sur cet extranet leurs observations et/ou compléments au texte et/ou projets alternatifs ;
- à l'issue de la réunion physique, les participants du groupe de travail disposaient encore d'une semaine – dans la pratique, souvent un peu plus – pour faire part de leurs remarques, échéance après laquelle le responsable de la rédaction, en lien avec le chef du Bureau de la gestion et de la législation minière (DEB/GR2) et, si nécessaire, avec le président du Comité de pilotage, procédait aux modifications utiles du texte et à sa publication sur l'extranet.

Le découpage adopté présente l'inconvénient de suggérer implicitement que le projet minier se déroule inexorablement de l'exploration à l'après-mine ; il appartenait à la rédaction des différents chapitres de rappeler que la vie du projet était loin d'être linéaire, et que le risque d'abandon technique ou financier était présent à toutes les phases préalables à la mise en exploitation. Les débats locaux menés à l'occasion des demandes de PER<sup>6</sup> avaient en effet montré que ce risque d'échec est peu perçu par les populations de territoires, et que le projet minier est souvent perçu comme un projet industriel comme un autre.

3. Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels, EPIC du Ministère de l'Environnement.

4. Voir article de P. Kister et al. dans ce numéro.

5. DEB/GR2 : Bureau de la gestion et de la législation des ressources minérales non énergétiques.

6. Permis exclusif de Recherches.

Ce processus de travail très exigeant s'est déroulé à peu près comme prévu ; il a fait peser sur les rédacteurs des textes initiaux une charge importante, prise en charge dans le cadre d'un budget débloqué par le Ministre sur les crédits de la Direction générale des entreprises.

Le déroulement du processus appelle trois observations importantes – qui n'engagent que le rédacteur de cet article.

**Tout d'abord**, le travail des rédacteurs a abouti à **un ensemble de textes très volumineux – trop volumineux** – et non à des rédactions synthétiques. Cet état de fait a amené le président du Comité de pilotage et le chef du Bureau GR2 à convenir de la nécessité d'un document de synthèse générale ; cette nécessaire et difficile synthèse a été rédigée par le chef du bureau GR2 et soumise au Comité technique et au Comité de pilotage en janvier 2016 ; **elle constitue le livre blanc à proprement parler**, les textes supports de chacune des séances en étant des annexes (voir la liste plus loin).

**Une deuxième remarque** porte sur **les attentes des populations concernées**, élément capital pour la démarche. Les réunions n'ont pas permis de faire émerger une explicitation de ces attentes en séance par les participants venant de la société civile, et ce point a finalement été remplacé, dans chaque chapitre, par une analyse « technique » des impacts sociétaux, économiques et environnementaux par les différents rédacteurs, puis, à la suite, des listes de « bonnes pratiques » possibles, à adapter en fonction des projets.

**Troisième observation** : la permanence, dans les débats, **du dilemme entre réglementation et engagements**. Sommairement, certains acteurs ont posé à plusieurs reprises la question de l'insertion des propositions de « bonnes pratiques » dans des compléments à la réglementation française applicable, plutôt que leur transformation en engagements volontaires. Les débats ont porté, à plusieurs reprises, sur la différence entre obligations réglementaires (que ce soit en matière environnementale ou en matière sociale) et engagements portant sur un comportement, sans que ce débat aboutisse réellement. **Témoignerait-il d'une préférence d'une partie de la société française pour une réglementation croissante ?**

Enfin, le calendrier a vu, en septembre 2015, FNE<sup>7</sup> et ISF SystExt<sup>8</sup> quitter le comité de pilotage. FNE s'interrogeait sur la relation en matière d'objectifs, d'efficacité et de calendrier entre le contexte législatif et réglementaire (en particulier la révision du Code minier) et la démarche Mine responsable, sur l'efficacité des engagements volontaires à venir, sur le public concerné, enfin sur le poids réel de la société civile dans le futur suivi de

la charte d'engagements. ISF SystExt posait fondamentalement les mêmes questions, et remettait en outre en cause certaines des bases techniques du travail, soulignant la nécessité de prendre en compte d'autres secteurs d'activités comme l'urbanisme ou la santé dans la démarche.

Le travail a été poursuivi, y compris sur certains des enjeux cités par FNE et ISF SystExt, au cours des réunions consacrées, par exemple, au concept de mine responsable et aux engagements des industriels.

### L'état des documents et de la démarche en avril 2016

Le travail sur le référentiel technique peut aujourd'hui être considéré comme achevé. Il se compose, comme déjà mentionné, d'un livre blanc de synthèse à proprement parler d'un peu moins de 40 pages. Il est accompagné de 13 annexes représentant au total un peu plus de 600 pages et portant sur :

- 1. Industrie minérale et activité minière en France.
- 2. Législation et réglementation minières.
- 3. Projet minier et parties prenantes.
- 4. Exploration minière.
- 5. Développement, financement, construction.
- 6. Exploitation minière et traitement des minerais.
- 7. Fermeture, reconversion et gestion de l'après-mine.
- 8. Exploration et exploitation minière en Guyane.
- 9. Le concept de mine responsable. Parangonnage des initiatives mondiales.
- 10. Mines européennes. Quelques exemples de mines de métaux.
- 11. Sondages miniers.
- 12. Tableau des pratiques de la mine responsable.
- 13. Lexique.

Afin de préparer le débat sur les engagements et la structure même des conventions, un tableau de synthèse (annexe 12) a été compilé par DEB/GR2 à partir des propositions figurant dans chacune des annexes du livre blanc. Ces propositions distinguent les aspects réglementaires des opérations, qui sont traités avec des pouvoirs étendus par l'administration de contrôle (les préfets de départements assistés des DREAL), des enjeux de comportement relevant de l'exploitant lui-même.

Le modèle français de mine responsable proposé est fondé sur 11 principes inscrits dans les trois piliers du développement durable (les dimensions économique, sociale et environnementale) ; ces principes ont vocation

7. France Nature Environnement.

8. Ingénieurs Sans Frontières : Systèmes Extractibles.

à être déclinés, éventuellement de manière différente, lors des 4 phases principales d'un projet minier (exploration, développement et construction, exploitation, fermeture/après-mine) :

- 1. Instaurer un dialogue confiant (transparence, visibilité à long terme, recherche d'un avis éclairé, communication).
- 2. Permettre la participation effective des parties prenantes aux étapes clés de la mine (conception, évolutions et fermeture pour anticiper et accompagner le changement induit par la mine).
- 3. Contribuer au développement des qualifications professionnelles locales.
- 4. Assurer la sécurité au travail.
- 5. Participer à la vie locale.
- 6. Favoriser les emplois et achats locaux.
- 7. Préserver et développer les autres activités économiques.
- 8. Assurer une exploitation durable du gisement.
- 9. Contribuer à la pérennité d'une activité post-mine.
- 10. Établir et mettre en oeuvre un système de management environnemental.
- 11. Réduire l'empreinte écologique par l'usage des bonnes pratiques.

À la suite du comité de pilotage de janvier 2016, les branches industrielles concernées (Chambre syndicale de l'industrie minière - CSIM et FEDOMG<sup>9</sup> d'une part, Comité des salines de France d'autre part) ont présenté au Comité de pilotage des propositions d'engagements volontaires allant dans le sens de ce document ; la fédération des opérateurs miniers de Guyane se propose en outre de faire évoluer sa charte des bonnes pratiques existante (depuis février 2005), en y incluant la traçabilité de l'or produit.

Ce travail collectif ne doit pas faire oublier les projets individuels ; la législation et la réglementation exist-

tantes permettent en effet à l'exploration de se dérouler sans attendre une nouvelle révision du code minier (qui a été amendé à de nombreuses reprises, y compris dans les 30 dernières années) : de fait, sur les PER attribués, les préfets prennent des arrêtés réglementant les opérations à mener.

Par ailleurs, la bonne volonté permet de ne pas attendre la finalisation des conventions d'engagement volontaire : les explorateurs mènent avec les préfetures des réunions de concertation ou d'information que la réglementation existante ne rend pas obligatoires.

Cette expérience du terrain est capitale. Elle a malheureusement été l'occasion de constater que la transparence sur les résultats intermédiaires d'exploration conduisait parfois à des blocages encore plus forts qu'une information de moindre niveau, par exemple à une focalisation de l'opposition sur les zones plus réduites de cibles à travailler plus avant par géochimie complémentaire ou forages de reconnaissance. Explorateurs et public doivent apprendre à se fréquenter et à gérer le niveau de transparence en fonction des phases du projet.

### Conclusion

Élément important de la modernisation de l'industrie minière française, la démarche Mine responsable suppose, **de toutes les parties, une acceptation du dialogue, une capacité d'adaptation, une reconnaissance de l'aspect stratégique de certains minerais**, et la conscience de l'intérêt environnemental de l'exploitation en métropole par rapport à des importations de métaux de pays miniers moins développés. Elle peut en cela contribuer à un renouveau de ce secteur industriel dans un contexte très différent du passé. Le seul réel gage de renouveau, élément de sécurisation de l'industrie manufacturière, est la découverte de ressources exploitables dans les conditions environnementales exigeantes qui sont, légitimement, celles de la législation française et qui seules permettront l'acceptation de ces projets par la société française.

9. Fédération des Opérateurs Miniers de Guyane.

# Approvisionnements, besoins et dépendances de la France en ressources minérales non énergétiques : situation actuelle et vision prospective

Une synthèse d'Aurélie Lécureuil<sup>1</sup> à partir des contributions et données du site [www.mineralinfo.fr](http://www.mineralinfo.fr)

Les matières premières minérales sont à la base du développement de nos sociétés et sont intrinsèquement liées aux évolutions de l'homme au sein de son environnement. Depuis la révolution industrielle au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, l'utilisation des ressources minérales s'est intensifiée et diversifiée selon une croissance exponentielle pour beaucoup de substances. Ces ressources sont non renouvelables et leur production (extraction et métallurgie) consomme entre 7% et 8% de l'énergie produite (estimation de Van de Voet *et al.*) [référence 1]. En France, les besoins en métaux et minéraux représentaient en 2010 la moitié des besoins en matières, d'après l'analyse réalisée par le SOeS<sup>2</sup> (Fig. 1). Pour répondre à cet enjeu majeur pour la société française et dans un objectif de développement durable, les principes de l'économie circulaire sont nécessaires pour favoriser des sources de matières issues du recyclage, en moyenne moins énergivores, et également favoriser une consommation plus sobre. Néanmoins ces contributions ne sont pas suffisantes pour couvrir l'ensemble des besoins. La valorisation des ressources nationales constitue donc une opportunité économique mais également environnementale en limitant la pression environnementale que

nous externalisons via nos importations de matières.

Les ressources minérales primaires non énergétiques se distinguent selon trois catégories : les matériaux de construction, les roches et minéraux industriels et les substances métalliques.

En France, ces approvisionnements présentent une situation très contrastée : elle pourvoit à l'essentiel de ses besoins en minéraux industriels, granulats et matériaux de construction, elle est également exportatrice de classe mondiale pour certaines substances, tandis qu'elle importe la quasi-totalité des minerais et concentrés métalliques qui sont nécessaires à son industrie (à l'exception du sel et de l'or). Etant donné cette grande disparité de production et d'approvisionnement entre les trois types de substances, les minéraux industriels et les matériaux de construction seront traités séparément des substances métalliques qui relèvent par ailleurs du code minier, alors que les premières relèvent du code de l'environnement.

## Une production nationale en matériaux de construction et en roches ornementales en adéquation avec les besoins

L'activité extractive en France est majoritairement dédiée aux matériaux de construction pour le logement et les infrastructures. Les carrières de granulats représentent la majeure partie des 4 208 exploitations actives de l'industrie extractive en France en 2014. D'après les données de l'UNICEM [référence 2], la consommation en France s'élève à 6 tonnes de granulats/an par habitant. En 2014, ils ont été couverts à 99% par la production domestique qui s'est élevée à 349 millions de tonnes, dont 6,7% de granulats recyclés principalement à partir de matériaux de démolition (75%). La part du recyclage a doublé en 20 ans.

36% des granulats naturels sont issus de roches meubles correspondant à des formations géologiques superficielles (alluvions fluviales, glaciaires, sables marins) et 57% proviennent de roches massives concassées d'origine magmatique ou métamorphique (30%) ou sédimentaire : calcaires et dolomies (27%).

La totalité des granulats marins extraits représente seulement 2 % de la consommation nationale en granulats.

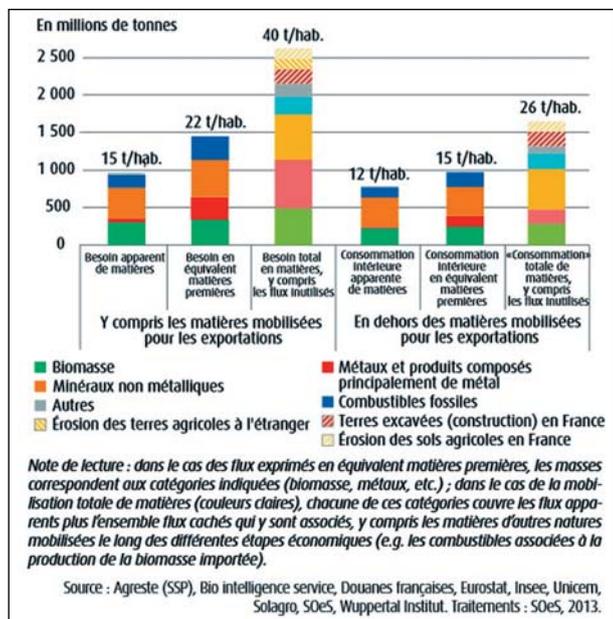


Figure 1. Besoin et consommation apparents et flux cachés de matières mobilisées par l'économie française (année 2010), extrait du bulletin n°177 produit par le CGDD-SOeS, octobre 2013, [référence 9].

1. Aurélie Lécureuil : chargée de mission au Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (MEEM) - Ministère de l'économie de l'industrie et du numérique (MEIN) : Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature / Direction de l'eau et de la biodiversité (DGALN/DEB). Courriel : [aurelie.lecureuil@developpement-durable.gouv.fr](mailto:aurelie.lecureuil@developpement-durable.gouv.fr)  
2. SOeS : Service de l'Observatoire et des Statistiques.

Les matériaux marins exploités en France sont essentiellement des sables plus ou moins grossiers destinés aux besoins de la construction. Néanmoins, on peut noter quelques usages agricoles : en Pays de la Loire, comme substrat pour la culture de la mâche nantaise et en Bretagne, pour corriger l'acidité des sols agricoles.

Malgré une concurrence internationale importante, l'industrie française des roches ornementales et de construction représente encore une importante filière d'activité. D'un réseau d'environ 400 carrières sont extraits annuellement plus de 556 000 m<sup>3</sup> de blocs, majoritairement de pierres calcaires suivies par les pierres granitiques, représentant 95% de la production. Le calcaire est principalement utilisé dans le bâtiment (75%) tandis que le secteur du funéraire est le principal débouché du granite (55%).

Quelques unes de ces exploitations présentent également un intérêt patrimonial fort pour la restauration des bâtiments et monuments historiques, classés ou non.

## Une production nationale en minéraux industriels qui valorise un sous-sol remarquable.

Le sous-sol du territoire national contient des gisements de « minéraux industriels » exceptionnels en quantité comme en qualité, dont l'exploitation constitue même, pour certains, de véritables particularités régionales : argiles réfractaires de Provins et de Charente, silice de Fontainebleau, kaolin ou andalousite de Bretagne, silex de la Baie de Somme, talc des Pyrénées... Ces substances, indispensables à de nombreuses chaînes de valeur industrielles comme la céramique, le verre, l'automobile, la plasturgie, les plastiques, le papier, les peintures, la cosmétique, la pharmacie, la métallurgie et l'agroalimentaire, se retrouvent ainsi dans un large éventail de produits de consommation courante et jouent un rôle essentiel dans l'économie française.

Il s'agit de roches naturelles telles que les argiles, la silice, le kaolin, le quartz, le talc, le mica, le feldspath, l'andalousite, le calcaire à ciment, le gypse, la barytine, etc. En 2014, 44 millions de tonnes de ces minéraux ont été produits en France, en carrières à ciel ouvert ou en souterrain.

La France fait partie des principaux producteurs mondiaux de talc et de réfractaires silico-alumineux, et est leader européen pour les pâtes céramiques. L'existence de gisements d'importance sur le territoire national conjuguée aux performances et à l'innovation de grands groupes français positionnent la France comme un acteur significatif dans la production des minéraux industriels à l'échelle mondiale. Le dernier article d'Ecomine [Référence 3] offre un aperçu détaillé des secteurs d'activité liés au

talc et à la pyrophyllite.

## Une stratégie nationale de gestion des approvisionnements des matériaux de carrières

La gestion des approvisionnements fait l'objet d'une stratégie nationale. Elle a pour ambition de fournir un cadre permettant la sécurité d'approvisionnement et l'accès effectif aux gisements tout en répondant à l'ensemble des enjeux d'aménagement du territoire. Elle s'effectue dans une logique de développement durable, de gestion économe d'une ressource non renouvelable, de recyclage et de prise en compte permanente des politiques publiques environnementales, en concertation avec les autres acteurs du territoire (y compris les acteurs du milieu marin), afin de favoriser l'acceptabilité des projets de qualité. Cette stratégie s'appuie sur deux outils structurants : le *schéma régional des carrières* qui succèdera au schéma départemental des carrières et le futur *Document d'Orientation pour une Gestion durable des Granulats Marins* appelé DOGGM. Le site Mineralinfo [référence 4] met à disposition les schémas des carrières, la cartographie des ressources en granulats des départements côtiers ainsi qu'une base de données géo-référencées des exploitations de substances minérales et matériaux de carrières en France qui recense les sites en activité et fermés en métropole et les départements et collectivités d'outre-mer.

## Une production minière nationale très limitée

La baisse des cours observée entre 1980 et 2002 et l'épuisement de certains gisements ont progressivement engendré une diminution de la production et une fermeture des sites miniers (fer en 1995, potasse en 2003 et fluorine en 2006). Actuellement, les exploitations de substances minières en métropole ne concernent que l'extraction de sel, de la bauxite et de calcaires bitumineux.

L'extraction du sel est largement prépondérante avec une vingtaine de concessions en activité réparties sur une large partie du territoire métropolitain (Lorraine, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Aquitaine). En 2015, plus de 4,4 millions de tonnes de sel ont été extraites.

Pour les deux autres substances, le nombre de sites miniers est très restreint et les quantités extraites sont bien moindres : la bauxite est exploitée par deux exploitants à Villeveyrac et Bédarieux (Hérault), les calcaires bitumineux sont extraits de la mine d'Orbagnoux (Ain).

La France produit en tant que sous-produits en faible quantité du tantale, du niobium et de l'étain dans

une carrière de kaolin à Echassières (Allier) qui dispose d'une autorisation minière spéciale.

Concernant les mines en phase de développement, un projet minier d'extraction de fluorine (Antully) et un projet d'exploitation de bauxite (Villevyrac) en souterrain sont en cours.

Enfin, l'extraction se poursuit outre-mer avec l'or en Guyane (1.8t en 2014) et le nickel en Nouvelle-Calédonie (178kt en 2014). Cette dernière est le 5<sup>ème</sup> producteur mondial avec plus de 8% de la production mondiale et dispose du quart des réserves mondiales.

### Une production de métaux secondaires en-deçà des attentes

#### Les matières ferreuses

Les ferrailles produites en France proviennent de chutes neuves de fabrication, des ferrailles de démolition, des produits métalliques ferreux mis au rebut et des ferrailles issues du démantèlement des VHU<sup>3</sup>. À l'échelle de la France, en 2013, environ 12,9 Mt de ferrailles ont été collectées et le taux d'incorporation de ferrailles dans la production d'acier (en incluant les chutes internes) s'élève à 53% en 2012 [référence 4]. Ce taux se situe légèrement en-dessous de la moyenne européenne (56%) [référence 5]. Les industriels français sont confrontés à une forte concurrence internationale sur l'accès aux ferrailles et environ 40 % de ces ferrailles sont exportés, ce qui se traduit par une balance excédentaire du commerce extérieur français des métaux ferreux.

#### Les matières non-ferreuses

Les matières recyclables contenant les métaux non ferreux sont les chutes de production des industries de transformation, les produits domestiques en fin de vie (DEEE<sup>4</sup>, VHU, piles et accumulateurs) et les équipements industriels et commerciaux en inox, aluminium, bronze et plomb. En France, 1,8 Mt de métaux non ferreux ont été collectés dans les déchets en 2013. Le chiffre d'affaires du secteur est le premier contributeur au chiffre d'affaires des industries du recyclage. Parmi les substances métalliques récupérées, on peut noter l'aluminium, le plomb, le zinc, le cuivre, le titane et aussi l'indium, l'or, l'argent, le palladium et les terres rares. **Il n'existe pas de chiffre disponible sur les quantités de métaux stratégiques produites par recyclage.** Les capacités de recyclage en France restent limitées en comparaison du potentiel de déchets disponibles et des capacités de nos voisins européens. Plusieurs facteurs contraignent l'économie du recyclage : la complexité des assemblages des produits en fin de vie, l'efficacité de la collecte et du tri des déchets, ainsi que des

facteurs communs à toute activité métallurgique, en particulier l'existence de réglementations d'exigence très variée entre acteurs européens et surtout internationaux, qui pénalise les activités industrielles soumises aux standards les plus élevés, en l'absence de compensation.

### Une gestion multi-échelle des approvisionnements en métaux

L'ère industrielle a accéléré et diversifié l'utilisation des métaux dans tous les domaines de l'activité humaine. La consommation mondiale ne cesse d'augmenter, portée par l'augmentation de la démographie et l'amélioration du niveau de vie, créant cycliquement des tensions sur les approvisionnements et les prix des ressources minérales métalliques. Ces ressources sont désormais également indispensables au développement de nouvelles technologies et notamment celles dédiées aux énergies renouvelables. Comme le détaille le rapport de l'ANCRE<sup>5</sup> [Référence 6], à puissance nominale installée équivalente, l'intensité en matières nécessaires pour fabriquer les infrastructures des énergies renouvelables est globalement supérieure à celle des systèmes de production d'électricité à partir des énergies fossiles ou nucléaires. **Les programmes de transition énergétique annoncés par de nombreux pays devraient donc impacter à la hausse la demande en ressources minérales, ces prochaines décennies.**

Dans le cas de la France, l'arrêté du 24 avril 2016, relatif aux objectifs de développement des énergies renouvelables, détaille les puissances installées, visées au 31 décembre 2018 et au 31 décembre 2023, pour chaque mode de production. À partir des intensités matières estimées par l'ADEME<sup>6</sup> présentées dans le rapport de l'ANCRE [référence 6], **la construction des infrastructures (durant la période 2014-2018 [référence 7]) pour la production d'énergie à partir de l'éolien et du solaire devrait nécessiter en première approximation et pour quelques éléments de base : 2,2Mt d'acier, 2,7Mt de béton, 80kt de cuivre et 1,4Mt d'aluminium.** Ces chiffres ne prennent en compte, ni le stockage, ni le raccordement au réseau. Cependant, la filière des énergies renouvelables n'est qu'une des nombreuses filières consommatrices de ressources minérales et les filières traditionnelles industrielles vont également continuer à consommer.

### La France est fortement dépendante des importations pour ses approvisionnements en métaux

Qualifier avec précision cette dépendance est difficile en raison des limites de la nomenclature douanière

3. Véhicules Hors d'Usage.

4. Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques.

5. Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie.

6. Agence de l'Environnement et Maîtrise de l'Énergie.

et de la diversité des produits que nous importons, de nombreux sous-ensembles dont la composition est inconnue. Le tableau 1 caractérise davantage notre industrie de première transformation qu'il ne renseigne sur les besoins de l'économie. C'est notamment pour répondre à cet objectif que **le comité des métaux stratégiques, le COMES<sup>7</sup> a été créé en 2011**. Pour approcher cette dépendance, mesurer les conséquences et engager les actions de mitigation, le COMES a notamment lancé la réalisation de quinze monographies, ainsi que huit fiches de criticité, produites par le BRGM. L'exploitation de ces travaux permet d'obtenir la matrice de criticité (Fig. 2) qui traduit le niveau d'exposition de l'économie française en fonction du risque d'approvisionnement.

La réponse à ces enjeux passe par les 7 piliers<sup>8</sup> de l'économie circulaire. Ainsi, il est important de rappeler que les approvisionnements en ressources minérales non énergétiques feront l'objet d'un exercice approfondi dans le cadre de l'article 69 de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Celui-ci stipule que « le Gouvernement soumet au Parlement, tous les cinq ans, une stratégie nationale de transition vers l'économie circulaire, incluant notamment un plan de programmation des ressources nécessaires aux principaux secteurs d'activités économiques qui permet d'identifier les potentiels de prévention de l'utilisation de matières premières, primaires et secondaires, afin d'utiliser plus efficacement les ressources, ainsi que les ressources stratégiques en volume ou en valeur et de dégager les actions nécessaires pour protéger l'économie française ».

D'ores et déjà, les politiques publiques engagées visent à acquérir davantage de connaissances sur les ressources primaires et secondaires disponibles en France et à se projeter sur le moyen terme :

- la valorisation des données du sous-sol avec la création du portail public français dédié à l'information sur les ressources minérales primaires et secondaires non énergétiques ([mineralinfo.fr](http://mineralinfo.fr)) et la réexploitation par le BRGM des connaissances acquises lors de l'inventaire minier national (1975-1992) complétées par des données plus récentes pour faire émerger et promouvoir des cibles nouvelles qui n'auraient pas retenu l'attention des opérateurs ;
- l'accompagnement du regain d'intérêt pour le sous-sol minier métropolitain ;
- la relance de l'exploration des grands fonds marins avec le dépôt d'un permis de recherche en Atlantique Nord par l'IFREMER, la signature, le 20 octobre 2015, d'une déclaration d'intention de l'Allemagne et de la France d'intensifier leur coopération dans le domaine des ressources marines profondes et de l'étendre au dévelop-

pement d'une exploitation minière commerciale et la rédaction de la stratégie nationale relative à l'exploration et à l'exploitation minières des grands fonds marins approuvée en comité interministériel de la mer du 22 octobre 2015 ;

- la promotion d'une « écologie du métal » afin de développer une industrie du recyclage des métaux efficiente, de valoriser les déchets miniers, de consacrer l'écoconception et de rechercher des matériaux de substitution afin de mettre en œuvre une production durable et une consommation soutenable. Les programmes nationaux de recherche en particulier ceux encadrés par l'ADEME ont vocation à faire émerger une ou plusieurs filières de recyclage de métaux, avec un intérêt particulier pour les métaux stratégiques qui permettront de répondre en partie à nos futurs besoins.

L'exemple le plus abouti pour illustrer l'investissement des industriels et de l'État Français dans la sécurisation des approvisionnements est probablement le projet EcoTitanium. Ce projet est porté par l'UKAD (JV entre Aubert&Duval et UKTMP) en partenariat avec l'État français (via l'ADEME) et le Crédit agricole. Il a pour ambition de diversifier **l'approvisionnement en titane à destination**

	Quantité (t)	Valeur de la consommation (kg)
Nickel	28 000	370 843 386
Cuivre	190 000	1 022 371 692
Plomb	70 000	114 998 799
Zinc	173 000	293 097 022
Aluminium	1 150 000	1 630 000
Titane	7 446 + 198 245 (a)	349 064 + 475 536 (a)
Manganèse	271 703 (b)	27 751 (b)
Magnésium	7 858 (c) + 2862 (d)	18 129 (c) + 6 401 (d)
Cobalt	820	23 751
Germanium	0,46	1 490
Fluorine	15 753	5 573
Antimoine (2013)	5 277	40 284
Gallium	< 1 t	26
Terres Rares	182	1 093
Lithium	467 (e) + 1358 (f)	4 066 (e) + 7 346 (f)

**Tableau 1 : Consommation française (apparente) de métaux en 2014 à partir d'une synthèse du BRGM (sources : INSG, ICSG, ILZSG, douanes françaises (Hors matériel militaire), Eramet).**

**Légende :**

(a) Tous produits à base de titane (oxydes, alliages, déchets)

(b) Minerai de manganèse

(c) Magnésium sous forme brute, teneur en poids en magnésium  $\geq 99,8\%$

(d) Magnésium sous forme brute, teneur en poids en magnésium  $< 99,8\%$

(e) Oxydes/hydroxydes de lithium

(f) Carbonates de lithium

NB : la limite d'utilisation des données douanières ne permet pas de fournir des chiffres cohérents pour le tungstène.

7. Comité pour les métaux stratégiques.

8. Les 7 piliers sont : l'approvisionnement durable, l'écoconception, l'écologie industrielle et territoriale, l'économie de fonctionnalité (ou d'usage), la consommation responsable, l'allongement de la durée d'usage et le recyclage.

**de la filière aéronautique**, filière industrielle parmi les plus critiques pour l'économie française et européenne. Il sera le premier site européen de recyclage de titane de qualité aéronautique à partir des chutes générées tout au long de la chaîne de fabrication, actuellement majoritairement exportées.

### Conclusions

Les politiques publiques sont donc mises en œuvre pour sensibiliser les acteurs économiques et industriels sur ces sujets. Néanmoins, il revient aux entreprises d'assurer directement la gestion de leurs approvisionnements car il n'existe pas, à l'échelle de l'État français, de stratégie de prises de participation dans des sociétés minières, ni de constitutions de stocks. Le projet de compagnie des mines de France, un temps envisagé, ne sera pas mis en œuvre. Les politiques publiques se focalisent sur l'acquisition et la mise à disposition des connaissances à destination des entreprises, pour aider les acteurs économiques et industriels à prévenir les multiples risques sur les approvisionnements. Le COMES, en interaction avec les Comités Stratégiques de Filière, oriente leurs réflexions et leurs actions sur les besoins des filières actuelles et ces comités sont également vigilants sur les besoins des filières d'avenir.

### Bibliographie :

- Référence 1 : UNEP (2013) Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metal Flows and Cycles. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Van der Voet E. *et al.*
- Référence 2 : Bulletin Ecomine du 21 mars 2016, Talc et pyrophyllite : des utilisations variées dans une industrie mondiale en évolution : <http://www.mineralinfo.fr/ecomine/talc-pyrophyllite-utilisations-variees-industrie-mondiale-en-evolution>
- Référence 3 : Rapport de statistiques 2014 produit par l'UNICEM ; les données statistiques 2014 proviennent du SOes.
- Référence 4 : Mineralinfo.fr

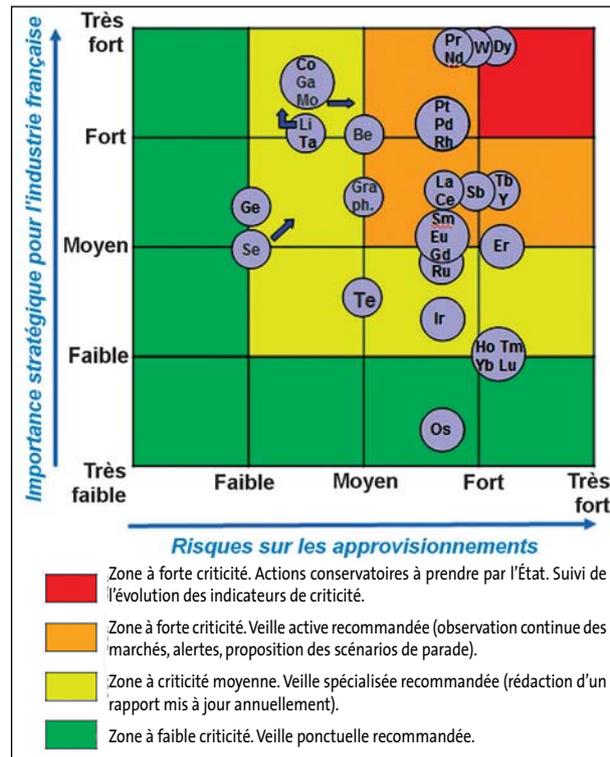


Figure 2. Matrice de criticité représentant l'importance stratégique des substances pour l'économie française en fonction du risque d'approvisionnement (établie à partir des monographies et fiches de criticité réalisées par le BRGM).

- Référence 5 : Bilan national du recyclage 2003-2012. Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par BIO (by Deloitte).
- Référence 6 : World steel recycling in Figures 2008-2012, Bureau of international recycling.
- Référence 7 : ANCRE, Ressources minérales et énergie, juin 2015.
- Référence 8 : Le parc de production électrique français, <http://ufe-electricite.fr/IMG/pdf/13.pdf>, source RTE
- Référence 9 : « Le point sur » n°177, SOes, octobre 2013, <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/LPS177.pdf>

## Criticité et économie circulaire

Didier Julienne<sup>1</sup>.

L'économie circulaire est un concept à la mode qui s'insère dans une Europe qui consomme 20% de la demande mondiale en métaux, n'en produit que 5% mais est, à quasiment 100%, dépendante de l'étranger pour les métaux critiques ; une Europe qui sait que ses besoins en métaux critiques vont croissant et ne seront jamais couverts par le recyclage. La France n'échappe pas à ce désé-

quilibre et il est particulièrement prononcé pour les métaux dit « stratégiques » et « critiques ».

### Quelques définitions

Un métal est qualifié de stratégique parce que répondant aux ambitions politiques essentielles de l'État, qu'elles soient, par exemple, liées à l'urbanisation en

1. Président et directeur général de NEOMETAL : Société française exploratrice minière spécialisée dans les métaux critiques. Courriel : [office@didierjulienne.eu](mailto:office@didierjulienne.eu)

Chine, à l'énergie aux États-Unis ou bien à l'industrie militaire en France... Sans politique commune, à ce jour, dans un domaine requérant de tels métaux, l'Europe est dans l'impossibilité d'établir une telle liste de métaux stratégiques. *A contrario*, l'Europe liste avec raison des métaux critiques liés à l'industrie européenne qui connaissent des contraintes tangibles : géologiques, commerciales ou géopolitiques. Pour ces trois raisons, et sans percées scientifiques substitutives, ces métaux sont en risque de pénurie et ils sont donc critiques.

Un métal perdra son caractère stratégique dès que la politique étatique, à laquelle il se rapporte, disparaît, alors qu'il gardera, ou trouvera, cette même caractéristique stratégique dans un pays voisin ; les exemples de l'uranium ou du lignite entre la France et l'Allemagne sont éloquents. De même, le platine, le palladium et le rhodium perdront leurs caractéristiques critiques en Europe dès que la voiture électrique dépassera celle à moteur à explosion, pour autant qu'ils ne soient pas indispensables au stockage de l'hydrogène pour le palladium et à la catalyse dans les piles à combustible pour le platine. Métaux stratégiques et critiques voient leurs classifications évoluer d'un pays à l'autre, d'une industrie à une autre et tout ceci est hautement évolutif avec le temps (Fig. 1).

Naturellement, une difficulté surgit lorsque des métaux sont stratégiques, parce que nécessaires à des politiques nationales, mais également critiques parce qu'indispensables aux industries d'avenir. Les premières étant parfois équivalentes aux secondes, mais pas toujours. Si les métaux sont stratégiques et également critiques, la situation peut échapper à tout contrôle ; c'est une véritable menace qu'il faut mesurer du côté de l'offre à l'image de la crise des terres rares en 2010, et du côté de la demande à la réalité des nouveaux paradigmes mondiaux : énergies renouvelables, transport, numérique, aérospatiale..., parce que sans un approvisionnement sécurisé, le tissu industriel décline, mais, avec un accès compétitif et sécurisé aux ressources, il se développe.

### Criticité et dépendance

Dernier point, le modèle minier mondial a changé. Les stratégies de souveraineté exercées par les pays développés sur leurs filières industrielles sont confrontées aux stratégies de puissances exercées par les pays émergents sur leurs gisements de matières premières. L'exploitation de gisements situés dans les

économies émergentes au profit des économies développées est plus complexe que par le passé ; cet ancien paradigme minier n'est plus une référence d'avenir. En outre, trop souvent, ces matières premières proviennent de pays qui détiennent un quasi-monopole sur la production, mais depuis peu également sur la transformation et enfin sur la distribution. C'est par exemple l'exploitation de terres rares en amont, mais plus grave, en aval, la fabrication des aimants permanents, puis leur commercialisation. C'est également le cas du tungstène et d'autres métaux critiques. Il est à craindre que le commerce contrôlé de ces matériaux dans le cadre d'une consommation compétitive et mondialisée, mette en péril l'approvisionnement d'industries françaises et européennes d'avenir. Par conséquent, la géopolitique, qui n'ignore pas la prééminence de géants asiatiques, commande que la France et l'Europe assurent leurs développements à partir de métaux provenant de leurs propres territoires, particulièrement pour les métaux stratégiques et critiques.

### Criticité et économie circulaire

Consciente de ces enjeux et de notre dépendance, l'économie circulaire se veut être une solution. Cependant, sachant que quoiqu'il arrive, le recyclage sera insuffisant pour couvrir nos besoins industriels, il est nécessaire de relancer le secteur minier en Europe et notamment en France. L'alliance de l'économie circulaire et des métaux dispose d'un exemple vététotestamentaire, l'or. Exemple emblématique remontant dans la nuit des temps, infiniment réutilisable, une partie de l'or que nous utilisons a

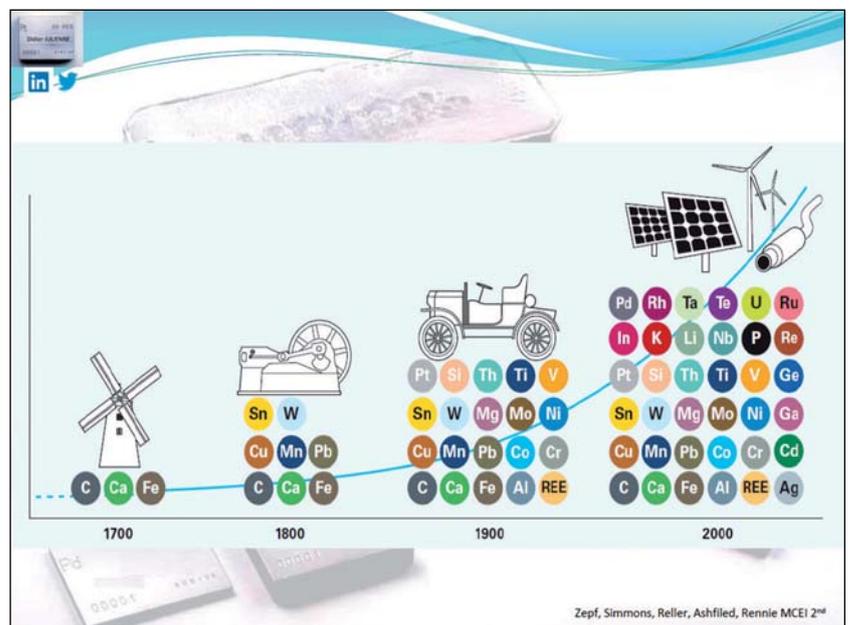


Figure 1 : Évolution dans le temps de la criticité des métaux ; source : Zepf et al., 2010.

été extrait du sol il y a quelques milliers d'années ! Il est déjà passé plusieurs fois au cours des âges par différentes étapes de l'économie circulaire : extraction, écoconception, fabrication, commercialisation, utilisation, collecte de déchets et recyclage (Fig. 2).

Au XXI<sup>e</sup> siècle, au fur et à mesure des progrès scientifiques qui permettent de réduire la quantité de métal par unité produite, d'allonger la durée de vie des produits puis de les recycler, une autre philosophie de l'économie circulaire s'impose. D'aucuns souhaiteraient que l'optimisation de la circulation de la matière s'élabore non pas sous la forme d'innovations régulières, par exemple au fur et à mesure des nouvelles générations de téléphones, mais *ex-nihilo* et immédiatement. C'était par exemple le vœu exprimé par une ONG qui souhaitait qu'aucun produit ne puisse être commercialisé avant qu'il ne soit totalement recyclable. Quel défi que de mettre en place des filières *ex-nihilo* pour des marchés inconnus. La deuxième évolution de l'économie circulaire consiste à gérer le cycle, non pas d'une seule matière, mais du gisement polymétallique qui équipe un téléphone portable, une voiture électrique, une éolienne..., etc. En effet, concevoir le cycle de l'économie circulaire, de l'extraction de métaux critiques au recyclage d'un gisement industriel et polymétallique de ces mêmes métaux, est un événement plus compliqué que l'économie circulaire du cerclage métallique d'une roue en bois au XIX<sup>e</sup> siècle, parce que nos appareils ont des quantités de métaux critiques toujours plus faibles, grâce à l'écoconception, et donc les gisements polymé-

talliques industriels deviennent des ressources métalliques à faible teneur. De nos jours il n'existe pas de meilleur exemple que celui de la transition énergétique.

## Économie circulaire et Transition énergétique

**La transition énergétique impose paradoxalement une migration des ressources en hydrocarbures vers des ressources en métaux stratégiques et critiques** utilisés dans la transformation d'énergies climatiques en électricité ; dans le stockage de l'électricité ; dans des nouvelles générations de batteries ; dans la consommation de cette électricité dans de nouvelles applications dont la domotique, l'électronique, l'aéronautique ou le véhicule électrique (il consomme 4 fois plus de cuivre qu'une voiture traditionnelle et se recharge dans une station équipée de 15 tonnes de cuivre ou une borne individuelle comprenant 20kg de cuivre)..., etc.

Cette transformation, cette migration d'énergies hydrocarbonées vers des énergies transformées par les minerais, nécessite une chaîne de valeur des métaux stratégiques et critiques qui commencera dans l'industrie minière, avant de voir ces métaux recyclés, dans 10 ans après utilisation industrielle pour les premiers, mais après 2050, pour la plus grande partie.

Aujourd'hui, aidés au départ, il nous faut donc prévoir de produire un important stock de métaux pour les vingt prochaines années, pour la construction de ces infrastructures énergétiques, et la **première difficulté minière est la distribution géologique**. La construction de la croûte terrestre a donné lieu à quelques accidents ou « pépites » géologiques qui, de temps en temps, ont concentré une famille de métaux rares en un endroit - les platinoïdes en Afrique du Sud et en Russie, le béryllium aux États-Unis, le bore en Turquie, le tungstène en Europe du Sud, les terres rares lourdes en Chine... Au contraire, les métaux critiques sont le plus souvent dispersés car leur production est souvent issue de celle d'un métal primaire, par exemple l'indium provient de la mine de zinc (Fig. 3).

**Ensuite, il y a la manière.** Notre époque précautionneuse réclame certes plus de métaux stratégiques et critiques, mais elle les réclame avec une mine durable et responsable, placée à l'intersection de quatre problématiques : l'environnement,



Figure 2 : Étapes majeures de l'économie circulaire d'après Raw Materials, 2010.  
Légende : 1) Matières premières. 2) Recyclage. 3) Conception. 4) Production, remanufacturation. 5) Distribution. 6) Consommation, utilisation, réutilisation, réparation. 7) Collecte.



ter les futurs métaux en Asie pour transformation ultérieure, voire toutes ces raisons, ou d'autres, à la fois.

### **La deuxième piste : le durcissement de l'économie circulaire**

Il faut admettre que la re-conception de produits finis permet non seulement de consolider la consommation des métaux parce qu'elle diminue le coût des produits finis, mais, en outre, qu'elle développe la demande car des prix de métaux stables favorisent de nouvelles applications.

Il faut également comprendre les difficultés du recyclage. D'une part, la réglementation française renchérit considérablement les coûts industriels alors que d'autres réglementations n'ont pas les mêmes exigences. D'autre part, les nouveaux gisements de métaux à recycler ont transformé le recyclage en une activité hautement technologique avec des savoir-faire, des brevets, des secrets technologiques, et une R&D en éveil permanent pour répondre aux toujours nouveaux alliages qui lui sont proposés par la mine urbaine.

Il faut enfin accepter que, lorsque les prix des métaux sont bas, comme cela est le cas depuis plusieurs mois, il fait peu de doute que des recycleurs fragiles disparaissent ou bien seront tentés de sombrer dans le crime environnemental pour sauver leurs entreprises. Pour éviter cette dernière dérive, la profession doit disposer d'une structure bilancielle adaptée à des alliages polymétalliques plus complexes, réaliser des investissements techniques lourds et en progression, s'adapter à un marché des métaux volatile. Par conséquent les donneurs d'ordre, les éco-organismes doivent participer à ce financement.

En outre, le recyclage des métaux rares s'accompagne de complexités encore non résolues, comme indiqué ci-après.

- **La collecte est un métier à part entière.** De nombreux métaux n'ont pas un taux de recyclage satisfaisant. Si le consommateur est plus sensible à une incitation économique plutôt que politique ou morale actuelle, peut-on demander aux éco-organismes de s'adapter ?
- **La recherche doit progresser.** Les assemblages et alliages industriels de métaux sont différents des polymétalliques naturels et demandent des dislocations, identifications, séparations innovantes avant les étapes d'hydrométallurgie ou de pyro-métallurgie classiques. À ce sujet il serait important que les subventions européennes soient dirigées premièrement vers les recherches de recyclage de métaux qui sont réellement stratégiques et critiques.
- **Les quantités unitaires** industrielles sont parfois plus **difficiles à concentrer** que celles connues dans la nature,

parfois les couches sont si minces que les métaux ne sont pas recyclables.

- À la différence de l'or ou des platinoïdes qui se recyclent quasiment sans fin, les incapacités ou pertes d'affinage ne permettent pas de recycler 100% des déchets : **le recyclage n'est pas infini.**

Enfin, pour en revenir aux énergies renouvelables, existe-t-il un plan de recyclage des éoliennes et des panneaux solaires ? Les câbles en cuivre souterrain ou sous-marin seront-ils tous récupérés et recyclés, les plots en béton terrestre et sous-marin seront-ils tous démantelés ? Les nacelles usagées seront-elles exportées d'Europe vers l'Afrique ou l'Inde pour une « deuxième vie », comme pour les automobiles ? Où et comment seront recyclés les aimants permanents des éoliennes et les métaux des panneaux solaires ? Serait-il conforme aux chartes de l'économie circulaire et de la transition énergétique de ne pas savoir comment ces pays, *in fine*, recycleront nos vieilles éoliennes ? Comme nos vieilles voitures ?

À cette jonction entre l'économie circulaire et l'énergie, comment ne pas insister **sur la question des déchets nucléaires et la prochaine mise en place de l'économie circulaire du nucléaire.** La France dispose sur son sol de déchets nucléaires qui se transformeront en futur carburant dès que les prochaines centrales, dites à neutrons rapides, seront opérationnelles. Cela signifie que sur son sol la France dispose d'une quantité de carburant nucléaire équivalente à environ 20 000 années de consommation électrique actuelle. Non seulement brûler ces déchets évite le stockage, mais en partageant cette réserve avec l'Europe nous pouvons engendrer 5 000 ans d'électricité européenne et rechercher la réelle nouvelle énergie du futur.

Vous l'aurez compris, le concept d'économie circulaire n'est pas une menace pour la mine, mais une opportunité. Les ressources limitées du recyclage et la fragilité française particulière vis-à-vis des métaux stratégiques et/ou critiques, doivent nous permettre de réduire nos dépendances avec un moyen, la mine responsable. Cette dernière, incluse dans le cycle de l'économie circulaire, est la solution pour contribuer à la sécurité des approvisionnements de la France et de l'Europe, pour réduire, voire marginaliser, notre dépendance métallurgique extérieure et pour sécuriser des emplois non délocalisables dans nos régions.

### **Référence**

- Material critical to the Energy industry par Volker Ezzpf *et al.*, Avril 2014 site : [http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/sustainability/group-reports/ESC\\_Materials\\_handbook\\_BP\\_Apr2014.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/sustainability/group-reports/ESC_Materials_handbook_BP_Apr2014.pdf)

## Atouts et enjeux de la filière minière française

Michel Jébrak<sup>1</sup>.

La France a été une grande puissance minière il y a 100 ans : ses chimistes, ses géologues, ses mineurs ont eu une importance mondiale dans les développements miniers lors la mondialisation victorienne. Cette puissance reposait à la fois sur des mines en métropole, et sur un vaste réseau colonial. Avec la décolonisation, l'activité minière se réduisit progressivement. La fermeture de la quasi-totalité des mines sur le territoire métropolitain en 2006, l'échec de l'ouverture d'une mine d'or industrielle en Guyane en 2008, mirent quasiment un terme à ces activités, à l'exception notable du nickel en Nouvelle-Calédonie, de l'or en Guyane et de quelques exploitations (sel, bauxite) dans l'Hexagone.

Mais, en même temps, se produisaient des bouleversements sur la scène minière mondiale. La reprise du prix des matières premières provoquait une hausse du cycle minier. Huit ans de boom minier marquaient une rupture significative avec une tendance baissière de 30 ans, depuis la crise pétrolière des années 1970.

L'origine du boom est double : d'une part, c'est la forte demande en métaux de la Chine, et dans une moindre mesure, de l'Inde ; d'autre part, c'est l'épuisement progressif des gisements disponibles, et l'exploration, négligée pendant des décennies. On a cru au super-cycle, à l'aube d'une croissance séculaire, parfois avec d'excellentes raisons. Malthus revenait avec sa peur de l'épuisement. Tout ceci a été balayé depuis 3 ans, et le crépuscule de l'activité est aussi d'origine asiatique. La réduction de la croissance chinoise a déçu les anticipations. Les métaux sont redevenus abondants et le marché des commodités dures<sup>2</sup> s'est effondré.

À leur zénith en 2011, les investissements miniers pour les métaux non ferreux dans le monde avaient été multipliés par 6 par rapport à 2003. Les tensions sur les prix incitaient aux conflits nationalistes, et chaque pays retrouvait l'intérêt d'une politique minière autonome, garantissant ses revenus ou ses approvisionnements. La France a ainsi relancé une politique des ressources, la déclinant avec la tradition colbertiste qui nous est propre, entre société d'État et politique forte, mais aussi avec la sensibilité environnementale des pays désindustrialisés. Les projets ont été lents à démarrer... et le retournement de la tendance minière n'incitera personne à les poursuivre. La crise actuelle diminue les investissements, réduit le nombre de joueurs, favorise la consolidation plutôt que le

développement. Elle rappelle les dures réalités économiques et nettoie les idées excentriques. Nombre d'entreprises sont aujourd'hui en mode survie.

### Quels sont alors aujourd'hui les atouts de la France dans le nouveau monde minier ?

Comment pouvons-nous être mieux préparés à la prochaine remontée des cours ? Une manière d'analyser cette question est de considérer l'ensemble de la grappe (cluster, filière) minière : elle comprend bien plus que les seuls exploitants miniers : financement des projets, diversité des entreprises, présence de l'État, développement des compétences. Le tableau 1 montre comment on peut évaluer chacun de ces éléments sur quatre territoires.

Dans ce tableau, la France se classe plutôt bien en termes de potentiel géologique, de système bancaire, et de grandes entreprises de production et de service. Les classements scientométriques répétés montrent que les ingénieurs et les géologues français se classent parmi les meilleurs mondiaux, même si les innovations technologiques ne suivent pas toujours. Certaines faiblesses sont anciennes, comme la faiblesse du capital mobilisable (pas de fonds de pension, peu de bourses), ou plus récentes (réduction des compétences de l'État pendant plus de 10 ans). **La fermeture des mines métropolitaines a fait disparaître**

		Canada	Grande-Bretagne	Québec	France <sup>(1)</sup>
<b>Géologie</b>	Potentiel	***	*	**	**
<b>Finance</b>	Bourse	***	***	-	-
	Banques	**	**	*	**
<b>Industrie</b>	Majeur	*	***	-	*
	Junior	***	*	**	*
	Services	***	***	**	**
	Production	***	-	**	*
<b>État</b>	Services	***	*	***	*
	Appui	***	*	**	*
	Loi	-	*	***	*
<b>Savoirs</b>	Mines	***	***	***	*
	Géosciences	***	***	***	***

Tableau 1. Évaluation qualitative des principaux éléments des grappes minières dans 4 pays ou province.  
Légende : (1) Y compris Nouvelle Calédonie et Guyane.

1. PGEO (géologue professionnel), Chaire Mine et Société, Nancy, Chaire en entrepreneuriat minier Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue – Université du Québec à Montréal, Canada.

2. Ces commodités dures correspondent aux ressources minérales par opposition aux commodités molles qui qualifient les ressources agricoles.

### *les terrains d'apprentissage indispensables au maintien des compétences et au développement de l'innovation.*

Quand une grappe est regroupée sur un même secteur, comme la Silicon Valley, on dispose alors d'un pôle de compétitivité, un lieu où l'information passe plus vite et mieux, un lieu où l'innovation naît des économies d'échelle et des synergies. C'est clairement un enjeu en France, puisque l'on observe des centres dispersés sur tout le territoire, en Lorraine (Nancy), dans la vallée de la Loire (Orléans), en région parisienne (siège des entreprises), sans compter les Alpes (Grenoble), le Jura (Besançon) et le Sud-Ouest (Toulouse, Montpellier) !

Quelles seraient donc les actions prioritaires à développer pour être mieux préparés lors de la prochaine reprise ? On dispose sans doute de 3 à 5 ans d'ici la nouvelle remontée des cours, sauf crise géopolitique mondiale. Il me semble se dessiner trois axes :

- Redonner un leadership à l'État pour soutenir le développement minier : diversifier les métaux à explorer, soutenir les juniors françaises, accompagner les entreprises d'exploration dont les responsabilités sociales sont devenues écrasantes. **La publication d'un code minier raisonnable est une urgence.** La reprise des travaux d'inventaire précompétitif est une nécessité. Plus généralement, la réflexion sur les filières métalliques critiques de ces dernières années (terres rares, lithium...) et leur articulation industrielle devraient déboucher sur une stratégie soutenant les opérateurs actuels et futurs. Cette thématique est en cours avec des consultations au Parlement.
- Nouer des liens avec des investisseurs proches : Londres est l'une des principales bourses minières du monde. Francfort est la bourse où se cotent plus de 2 000 entreprises dans le domaine des industries extractives, un record mondial. Ne pourrions-nous pas mieux jouer des synergies avec ces centres d'investissement pour les ressources naturelles ?
- Développer l'innovation pour augmenter l'efficacité minière. Nous disposons d'un capital scientifique considérable, et nombre de technologies peuvent être transférées et optimisées pour le domaine des ressources : méthodes analytiques, télécommunications, téléde-

tection et drones... **Ces outils doivent quitter les laboratoires pour être testés sur le terrain et commercialisés.** Il faut pour cela mieux accrocher l'industrie et la recherche, avoir des objectifs réalistes sur quelques années et non sur des décennies. Le ou les pôles de compétitivité doivent être renforcés.

Prenons un exemple : une de nos priorités de recherche a été mise sur les ressources minérales sous-marines, un sujet passionnant, avec un potentiel pour notre vaste domaine *offshore*. Et nous avons un centre d'excellence avec l'Ifremer<sup>2</sup>. Mais compte tenu du réservoir de gisements disponibles à terre, il est bien peu probable que des mines sous-marines se développent économiquement avant 10 ou 20 ans. Les résultats de nos recherches n'iront donc nourrir que les quelques compagnies étrangères déjà en place, s'empileront sur les placards de l'internet, ou fructifieront peut-être dans d'autres domaines. Malgré l'enjeu géopolitique de notre domaine maritime, il y a des priorités bien plus pressantes ! **Construire des mines plus écologiques, moins intensives en énergie, plus acceptables socialement...** C'est ce que font les Scandinaves avec leur projet Green Mining, très intégrateur.

De plus, une grappe minière n'est que le premier étage d'une chaîne de valeur de produits allant des minerais aux produits finis. Le boom minier a mis en évidence la fragilité des chaînes métalliques : faute de production locale, la France doit importer nombre de ses métaux d'Asie centrale ou d'Afrique. **La nécessité de reconstruire des chaînes de production minière est donc un élément essentiel d'un plan de ré-industrialisation de la France.** Une gestion plus responsable de l'offre et de la demande devrait également pousser les pays à tenter de réduire les transports internationaux de minerai, pour favoriser la consommation locale et développer l'économie circulaire : c'est la transposition du « locavore » au « locamine ».

Ces choix sont ceux d'un universitaire de l'exploration. D'autres sont possibles. Mais le point clef est de faire des choix muris, réalistes, et minimalement consensuels. Faire partager ses ambitions, donner une direction, voici le message attendu même et surtout dans les périodes de déprime !

2. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.

## La recherche et l'innovation en Europe : le réseau EIT<sup>1</sup> Matières Premières (EIT RawMaterials)

Didier Zimmermann<sup>2</sup>.

L'EIT comporte actuellement cinq communautés de connaissance et d'innovation (KICs)<sup>3</sup>, dont 3 ont vu le jour en 2010 et 2 en 2014, dont l'EIT Raw Materials, officiellement désignée KIC, le 9 décembre 2014. La caractéristique d'un KIC est de travailler sur toute la chaîne de l'innovation concernée par le thème.

Le présent article correspond à une traduction de la fiche de présentation de l'EIT RawMaterials, complétée par des données figurant sur le site Internet (eitrawmaterials.eu). Il comporte trois parties. La première est consacrée aux matières premières, à l'ampleur et à la diversité des besoins et à la conversion des enjeux en opportunités. La seconde correspond à un descriptif du réseau des plaques tournantes des matières premières dans l'Union européenne (UE). Enfin, la troisième s'exprime comme un panorama synthétique de la diversité de l'offre que le réseau propose à ses partenaires.

### Les matières premières : satisfaire des besoins d'une grande diversité

Depuis les voitures jusqu'à l'équipement médical, des cosmétiques à la coutellerie et de la joaillerie aux éoliennes, les matières premières sont partout. Sans elles, la vie moderne, telle que nous la connaissons, ne serait pas possible. Un seul portable (*smartphone*) comprend 40 différents éléments minéraux, par exemple 0,2 grammes d'indium, sous-produit de la fabrication du zinc métal. De fait, il faut environ 20 kg de zinc pour obtenir cette quantité d'indium.

Ce seul exemple montre que l'approvisionnement en matières premières est vital pour l'avenir. Mais l'Union européenne fait face à des difficultés pour assurer la sécurité de ces approvisionnements, en raison d'une forte dépendance aux importations, d'une demande en augmentation et de la décroissance de la qualité des ressources.

C'est la Commission européenne qui a initié et fondé l'EIT RawMaterials, qui correspond au consortium sur les matières premières le plus vaste à l'échelle mondiale. L'objectif est de faire des matières premières une force stratégique à l'échelle de l'Union européenne en s'appuyant sur 4 orientations :

- créer et développer un nouveau jeu, changeant, des

affaires à travers l'Europe ;

- développer un suivi rapide des jeunes entreprises innovantes (*start up*) et la commercialisation des idées ;
- encourager les échanges et les réseaux entre différentes disciplines et entreprises ;
- créer de nouvelles approches de formation à l'entrepreneuriat.

### Le réseau EIT RawMaterials

Ce réseau regroupe plus de 100 partenaires issus de 20 pays de l'UE<sup>4</sup>, ce qui correspond à plus de 700 000 personnes et à un revenu de plus de 200 milliards d'euros. Point très important, ce réseau encourage une collaboration entre institutions d'enseignement supérieur, instituts de recherche et entreprises. Ce partage de la connaissance, de l'information et des compétences est crucial pour trouver de nouvelles solutions innovantes pour améliorer le secteur des matières premières tout au long de la chaîne de valeurs, depuis l'exploration jusqu'aux processus d'extraction, de façon à faciliter la conception, le recyclage et la réutilisation.

Le réseau comprend 6 plateformes régionales<sup>5</sup> couvrant l'Europe selon un équilibre régional destiné notamment à offrir de la proximité géographique aux partenaires. Ces plateformes régionales sont cohérentes avec les écosystèmes régionaux englobant entreprises, recherche et enseignement supérieur. Chaque plateforme est transnationale de façon à stimuler le travail en réseau et la collaboration à travers l'Europe.

La plateforme Centre est localisée à Metz et inclut l'ensemble du territoire français et la plus grande partie de l'Allemagne méridionale et occidentale. Ses 12 membres englobent des entreprises (ArcelorMittal, Arkema, Eramet, Heraeus et Suez Environnement), des organismes de recherche et de développement technique (CEA, Fraunhofer et BRGM) et des institutions d'enseignement supérieur (Universités de Bordeaux et de Lorraine, Institut national polytechnique de Grenoble (INPG) et Université technique (TU) de Darmstadt en Allemagne). Cette plateforme favorise l'innovation, la création d'activités et la formation de haut niveau, initiale et permanente, dans le secteur des matières premières, tout au long de la

1. European Institute of Innovation and Technology.

2. General manager, EIT RawMaterials, CLC Central, Metz.

3. Knowledge and Innovation Communities (KICs). En 2010, 3 KICs ont vu le jour : Climate KIC (prévention et adaptation au changement climatique, EIT digital (technologies de l'information et de la communication) et KIC InnoEnergy (énergie soutenable), auxquelles sont venues s'ajouter, en 2014 : EIT Health (la vie en bonne santé et un vieillissement actif) et EIT RawMaterials.

4. Les chiffres de 2015 seraient de 116 partenaires issus de 22 pays.

5. Mer baltique (Espoo, Finlande), Centre (Metz, France), Est (Wroclaw, Pologne), Nord (Luleå, Suède), Sud (Rome, Italie), Ouest (Louvain, Belgique).

chaîne de valeurs. Elle se focalise principalement sur les processus, la substitution et le recyclage des matières premières de façon à rendre ce secteur industriel plus soutenable et compétitif pour faire face aux défis du futur.

### L'offre d'EIT RawMaterials à ses partenaires

L'EIT RawMaterials offre des opportunités variées aux entreprises européennes. Durant les prochaines années, plus de 400 millions d'euros de subventions seront fournis pour soutenir les 6 grands thèmes de connaissance innovante, considérés comme prioritaires :

- exploration et évaluation des ressources en matières premières ;
- exploitation dans des environnements à enjeux ;
- efficacité accrue de la ressource dans les procédés minéraux et métallurgiques ;
- recyclage et optimisation de la chaîne matérielle pour

les produits en fin de vie ;

- remplacement des matériaux critiques et toxiques pour optimiser la performance ;
- conception des produits et services pour l'économie circulaire.

### Perspectives

En 2018, le consortium s'est fixé comme objectif d'avoir soutenu et développé 40 propositions d'entreprises ayant abouti à un succès commercial, ainsi que 16 *start-up*, et d'avoir accueilli dans la main d'œuvre 1 000 diplômés de master et de PhD labellisés EIT. Sont également prévus dans le calendrier d'ici 2022 : 70 brevets finalisés.

### Coordonnées

- EIT RawMaterials headquarters, Spreepalais c/o Helmholtz HQ, Anna-Louisa-Karch str. 2, 10178 Berlin.
- Site Internet. [www.eitrawmaterials.eu](http://www.eitrawmaterials.eu)
- Centre de Metz : ENIM, 1 route d'Arns-Laquenexy, 57070 Metz.

## La recherche et l'enseignement sur les Ressources minérales en France : forces et faiblesses

Michel Cathelineau<sup>1</sup> et Didier Marquer<sup>2</sup>.

### Introduction

#### Recherche, formation et ressources minérales : un paradoxe français

En 2011, un rapport établi pour le Sénat affirmait qu'il n'y avait pas de ressources minières exploitées en France mis à part le nickel en Nouvelle Calédonie, et l'or en Guyane. Effectivement depuis 2005 environ, il n'y a plus de mines ouvertes en France : les dernières mines d'uranium (Le Bernardan, Areva) ont fermé en 2001, comme les mines d'or du district de St-Yrieix en 2001 (SMB-COGEMA), les exploitations de barytine de Chaillac en 2006, ce qui ne veut pas nécessairement dire qu'il n'y a pas de ressources potentielles. Les rares exploitations encore actives ne sont pas métalliques : le sel de Varangéville (Solvay), le talc de Luzenac (Imerys), les mines de kaolin (Imerys) avec de faibles quantités de produits dérivés (Sn, W, Nb-Ta) comme à Échassières ou à Ploemeur, par exemple.

Malgré un récent regain d'intérêt, rares sont ceux qui misent sur une réouverture en raison de la crainte d'oppositions sociétales locales, comme c'est le cas dans tout nouveau projet industriel. Les questions qui découlent

immédiatement de cette situation sont les suivantes :

- pourquoi **ouvrir des mines** puisque les conditions matérielles ou d'acceptabilité sociétale rendent ces projets difficiles à mener à terme ?
- pourquoi **travailler scientifiquement** sur de telles thématiques ? Les résultats de la recherche sont disponibles à l'échelle internationale dans les journaux scientifiques : alors pourquoi dépenser du temps et de l'argent en Recherche, Innovation et Développement alors que l'on peut trouver l'information provenant d'équipes qui ont des accès immédiats aux mines et aux sites d'exploration (Australie, Canada, Chine...).
- pourquoi **travailler sur des mines** s'il n'y en a pas en France ? Une remarque fréquemment entendue depuis plus de 20 ans, y compris de la part de scientifiques en charge des Geosciences.

Concernant le **potentiel minier français**, on se réfère à la France métropolitaine, qui était un pays minier il y a quelques décennies. L'exploitation et l'exploration sur le territoire national a cessé au moment où commençait une des décennies les plus riches en efforts de prospection à l'échelle mondiale, avec un accroissement des prix des

1. GeoRessources et Labex Ressources 21, Vandœuvre-les-Nancy.

2. DGRI-SSRI, MENESR, Paris.

« commodités » (ressources minérales), jusqu'à des sommets en début 2008. Il semblerait qu'aucun économiste n'ait prévu ni les chutes brutales des cours qui ont suivi ces maxima, ni les soubresauts continus, ni la forte dégradation depuis novembre 2015, simultanée à la baisse du prix du pétrole et au ralentissement de l'économie chinoise. La métropole possède encore des réserves non négligeables, certainement sous-estimées.

Le **potentiel de recherche** reste important en France, avec une forte production scientifique : la France est le 3<sup>ème</sup> pays européen en nombre d'articles publiés dans le domaine de la géologie minière et elle garde de nombreux atouts en recherche, en raison de la force des Géosciences et de sa structuration au niveau national (Universités, CNRS-INSU<sup>3</sup>, BRGM<sup>4</sup>, IFREMER<sup>5</sup>...). En outre, une partie des **formations** dans le domaine des **géoressources** a résisté au marasme des années 1990-2000 et sans doute mieux que dans le reste de l'Europe. À l'inverse de l'Allemagne qui a fermé un grand nombre de départements, plusieurs pôles de formation sont restés actifs et ont pu former des centaines de géologues dans la dernière décennie. Ces jeunes géologues ont pratiquement tous trouvé un emploi dans le domaine des Géosciences.

Au niveau des **industriels**, plusieurs leaders internationaux continuent d'explorer, d'exploiter mais aussi de mener des politiques actives en Recherche, Innovation et Développement (Areva, Eramet, Imerys, Rhodia, ...). En outre, des PME menées par des équipes françaises ont été créées dans cette dernière décennie et engagent des prospections en métropole et à l'étranger (SudMine, Variscan Mines, Arethuse...)<sup>6</sup>.

### Contexte économique et questions de recherche et développement apportées par l'industrie

Les études prospectives de l'Union européenne (UE) ont montré des perspectives de pénurie ou de très grande dépendance de l'Europe vis à vis des matières premières minérales. Ce diagnostic a été posé dans la période 2005-2008, en particulier lors de l'émergence des technologies nouvelles liées à la transition énergétique : métaux critiques, comme les terres rares pour les aimants permanents (énergie éolienne) ou Ge-Ga-In-Sb pour la microélectronique et la conduction électrique (énergie solaire). Dans une période où les mines ont fermé par manque de rentabilité par rapport au niveau mondial, la Chine a atteint une position de monopole avec plus de 10 métaux produits à plus de 90 % et plus de 40 substances produites à plus de 40%, au niveau mondial.

Si l'engouement pour les métaux critiques a

quelque peu baissé, comme en témoigne la chute du cours des métaux, il ne fait aucun doute que l'augmentation constante de la consommation, les difficultés du recyclage (technique, mais aussi liées à la difficulté de collecte des pièces et matériaux usagés) provoqueront une demande croissante en ressources primaires. La situation de déficit en métaux stratégiques (analyse à l'échelle du monde et de l'Union européenne) encourage donc une exploration accrue et un développement des recherches comprenant le cycle de ces métaux stratégiques et leurs facteurs de concentration. Les métaux de base nécessitent une exploration accrue afin de renouveler les réserves. Li, Co, Ni, Ge, Nb, In, Sb, Ta, Re, Pd, et les terres rares (lourdes) sont considérées comme des métaux stratégiques, car souvent proches du seuil de disponibilité.

Une recherche renouvelée tant dans ses concepts que dans le type de processus ou d'objets d'études (gisement de métaux stratégiques dont le cycle géochimique est encore fort mal connu) est donc nécessaire. Le défi de ce XXI<sup>e</sup> siècle nécessite en effet des progrès décisifs en recherche fondamentale avec des approches ou des méthodes innovantes afin de progresser dans la connaissance des processus de transfert et de concentration des éléments pendant l'évolution de la lithosphère. Par ailleurs, les enjeux de la recherche sur les gisements métalliques se sont largement déplacés par rapport à la vision que l'on pouvait en avoir il y a seulement une trentaine d'années. Dans le cas des éléments stratégiques, souvent à l'état de traces, la distribution au sein du gisement ou de la province, est encore très mal connue. De plus les anciens « stériles » constituent parfois de nouveaux gisements d'exception.

La situation mondiale et le contrôle de l'accès à la ressource créent donc et justifient des besoins en recherche et en formation malgré le contexte économique actuel, momentanément défavorable.

### Stratégie, moyens humains et techniques de la recherche académique

Les ressources naturelles et leur gestion durable sont une des priorités de la Stratégie nationale de recherche (SNR<sup>7</sup>) élaborée au travers des réflexions des acteurs de la recherche et des alliances Allenvi<sup>8</sup> et Ancre<sup>9</sup>. Parmi les 10 défis de la SNR, il en existe 3 dans lesquels les ressources minérales ont toute leur importance :

- le Défi 1 « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique » avec l'orientation 2 « Gestion durable des ressources naturelles », dans laquelle des accents forts sont mis sur la connaissance des gisements de ressources minérales primaires, l'impact envi-

3. Centre national de la recherche scientifique - Institut national des sciences de l'univers.

4. Bureau de recherches géologiques et minières.

5. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.

6. voir : [www.mineralinfo.fr/actualites](http://www.mineralinfo.fr/actualites) et articles concernant SudMine et Variscan Mines dans ce numéro.

7. Stratégie nationale de la recherche - France Europe 2020 (2015).

Document disponible à : [http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/Strategie\\_Recherche/26/9/strategie\\_nationale\\_recherche\\_397269.pdf](http://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/Strategie_Recherche/26/9/strategie_nationale_recherche_397269.pdf)

8. Alliance nationale de recherche pour l'environnement.

9. Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie.

ronnemental, les usages et conflits d'usage du sous-sol ;

- le Défi 2 « Énergie propre, sûre et efficace » ;
- le Défi 3 « Stimuler le nouveau industriel » ; des axes de recherche sont également énoncés sur les méthodes et technologies de séparation, le traitement et recyclage des matériaux, l'utilisation des matières premières pour l'énergie et les matériaux extrêmes.

Dans la SNR, cinq programmes d'actions prioritaires ont été retenus, dont une action concernant partiellement les géoressources : « Système Terre, Observation, Prévion, Adaptation », ce qui signifie « organiser l'acquisition et l'exploitation des données d'observation de la Terre pour anticiper les conséquences du changement climatique ».

### Les principaux centres de recherche sur les Ressources

Les Unités Mixtes de Recherche (UMR CNRS-Universités) sont les éléments constitutifs du dispositif de la recherche en Géosciences sur le territoire national. Ces unités sont regroupées localement en Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU) qui correspondent à un dispositif spécifique au CNRS-INSU. Les observatoires des sciences de l'Univers constituent des écoles internes au sein des universités au sens de l'article L. 713-1.

Les Unités mixtes de recherche (UMR) sont des laboratoires reconnus, soutenus à la fois par le CNRS et par un ou plusieurs autres organismes, et la plupart du temps par une ou plusieurs universités ou écoles. Elles comprennent en général l'ensemble des enseignants-chercheurs, chercheurs CNRS, ingénieurs, techniciens et personnels administratifs. Le label UMR leur donne la possibilité de se voir affecter des chercheurs, des ingénieurs, des techniciens ou des agents administratifs du CNRS, et leur ouvre l'accès aux crédits de l'organisme, ainsi qu'aux nombreux autres moyens dont il dispose dans le domaine des coopérations internationales, des «délégations» ou décharges de services pour les enseignants-chercheurs, des moyens documentaires, etc. Les trois **principales UMR** impliquées sur l'étude des ressources minérales sont celles de Nancy, Orléans et Toulouse.

Celle de **Nancy (GeoRessources)** dispose de deux équipes dédiées aux ressources minérales (métallogénie, fluides minéralisateurs, interactions fluides-roches et traitement des minerais) et des équipes supports traitant des risques miniers, de la modélisation 3D des gisements et de la modélisation hydromécanique. L'activité de ces équipes s'appuie en partie sur le CREGU<sup>10</sup> (35 ans de recherches sur les gisements d'uranium) et le Labex Ressources 21 (métaux stratégiques). Cette activité est complétée dans les domaines environnementaux à travers la contribution

des autres laboratoires de l'OSU (OTELo<sup>11</sup>, LIEC<sup>12</sup>, LSE<sup>13</sup>). Le CRPG<sup>14</sup> enfin contribue aux développements des approches géochimiques, notamment isotopiques, et à un focus sur les méthodes de datation et leur développement.

L'**Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO)** développe particulièrement les thématiques suivantes : i) géodynamique et minéralisations, comme par exemple l'étude des minéralisations magmatiques liées aux zones de subduction, ii) modélisation des circulations des fluides et relations entre fluides et croissance cristalline, iii) comportement des métaux au stade magmatique incluant le développement d'approches expérimentales sur la fusion et la cristallisation fractionnée. Plusieurs chercheurs du BRGM y développent également des recherches dans le domaine des ressources minérales.

L'**UMR Géosciences Environnement Toulouse (GET)** est impliquée dans des activités de recherche sur les ressources minérales, notamment sur les gisements de terres rares (magmatisme alcalin), l'approche expérimentale, en particulier le rôle des gaz dans les fluides géologiques sur la spéciation des métaux (Au Cu...) et les relations entre géodynamique et phases d'extraction des métaux à l'échelle crustale.

Plusieurs autres UMR contribuent significativement aux développements des analyses et concepts métallogéniques, le plus souvent grâce à des approches de recherche plus focalisées mais essentielles pour la compréhension des processus minéralisateurs :

- **Geosciences Rennes**, avec le développement de nouvelles approches dans la datation des minéralisations (U-Pb *in situ* sur minéraux accessoires), les isotopes stables couplés aux approches de terrain et aux études de la déformation ;
- **Geosciences Montpellier**, pour le couplage entre déformation et fonctionnement des zones minéralisées, notamment dans les discontinuités crustales ;
- **ISterre Grenoble**, pour l'étude de la spéciation des métaux dans les minerais par synchrotron et le développement d'études intégrées de l'économie des gisements ;
- **Geosciences Paris Sud (Geops)** pour l'étude intégrée de gisements dans les bassins sédimentaires et des approches de datation adaptées à la diagenèse et aux basses températures ;
- **Chrono-environnement Besançon**, pour les approches couplées de cartographie, déformation, métamorphisme, datation, minéralisation et la réalisation de chemins PTdtM<sup>15</sup>.

Il est impossible de citer de manière exhaustive les contributions à l'étude de la métallogénèse de toutes les équipes françaises ou de chercheurs plus isolés tant elles sont nombreuses. Ces nombreux savoir-faire contri-

10. Centre de recherches sur la géologie des matières premières minérales et énergétiques.

11. Observatoire des sciences de l'univers - Observatoire Terre et Environnement Lorraine.

12. Laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux.

13. Laboratoire Sols et Environnement.

14. Centre de recherches pétrographiques et géochimiques.

15. Pression, Température, Déformation, temps, Minéralisation.

buent à la meilleure connaissance du comportement des métaux et de leurs processus de concentration, ou de la distribution des métaux dans les minéraux, et les sols. Un certain nombre sont mentionnés dans la carte de la figure 1. Cette carte ne présente que les points principaux et n'exclut en rien l'intérêt des autres contributions. En effet, chacune de ces UMR contribue, à des degrés divers, à l'étude de gisements ou de provinces métallogéniques.

### Le Programme d'Investissement d'Avenir (PIA) - LabEx et Equipex

Les LABEX et les Equipex sont l'un des instruments du PIA destiné à soutenir la recherche d'ensemble des équipes sur une thématique scientifique donnée. Ce programme a sélectionné, en deux phases (2011, 2012), des projets thématiques et vise à doter de moyens significatifs les laboratoires ayant déjà une visibilité internationale, pour leur permettre de faire jeu égal avec leurs meilleurs homologues étrangers. Le MENESR<sup>16</sup> accompagne les projets retenus par le PIA, piloté par le Commissariat général à l'investissement (CGI). Sept grands projets « laboratoires d'excellence » sont impliqués sur les ressources minérales : Ressources 21 (Univ. Lorraine), Voltaire (Univ. Orléans), MER (IUEM<sup>17</sup> - Brest), SERENADE (Univ. Aix-Marseille), Damas (Univ. Lorraine), Matisse (Univ. Paris Sorbonne), CheMISyst (Univ. Montpellier). De plus, deux grands projets « équipements d'excellence » sont également dédiés en partie aux géoressources minérales : RESIF (Consortium piloté par le CNRS-INSU) et PLANEX (Univ. Orléans).

L'ambition de ces laboratoires d'excellence est :

- d'augmenter l'excellence et l'originalité scientifique, le transfert des connaissances produites et, par là même, la visibilité internationale de la recherche française, tout en entraînant dans cette dynamique d'autres laboratoires nationaux ;
- de garantir l'excellence des cursus, et de jouer un rôle moteur dans les formations de niveau doctoral, mais aussi des niveaux master et licence ;
- de s'inscrire dans la stratégie de leurs établissements de tutelle et de renforcer la dynamique des sites concernés.

Parmi les Labex, seul le **Labex Ressources 21** de Nancy (Ressources stratégiques pour le XXI<sup>e</sup> siècle) est entièrement dédié aux ressources minérales. Il est animé par les laboratoires de recherche en géosciences de l'OSU OTELO. Ce Labex propose une démarche intégrée sur la connaissance (métallogénie), la valorisation, la gestion environnementale (restauration des sols et phyto-exploitation) et l'impact écotoxicologique des ressources minérales naturelles, avec un focus sur Ni(Sc), terres rares, Sn-W (Nb-Ta), et Ge.

Le **Labex Voltaire** (Orléans), centré sur l'étude des fluides et des gaz depuis la lithosphère jusqu'à la stratosphère, aborde partiellement les aspects Ressources. Plus particulièrement, les actions de recherche se déroulent sous l'angle des concentrations magmatiques et hydrothermales (magmas felsiques à Sn-W) et leur relation avec la géodynamique intégrée à l'échelle des orogènes. D'autres Labex sont centrés sur des ressources non métalliques : géothermie (G-Eau-Thermie), pétrole ou des thématiques transverses (ISIFOR).

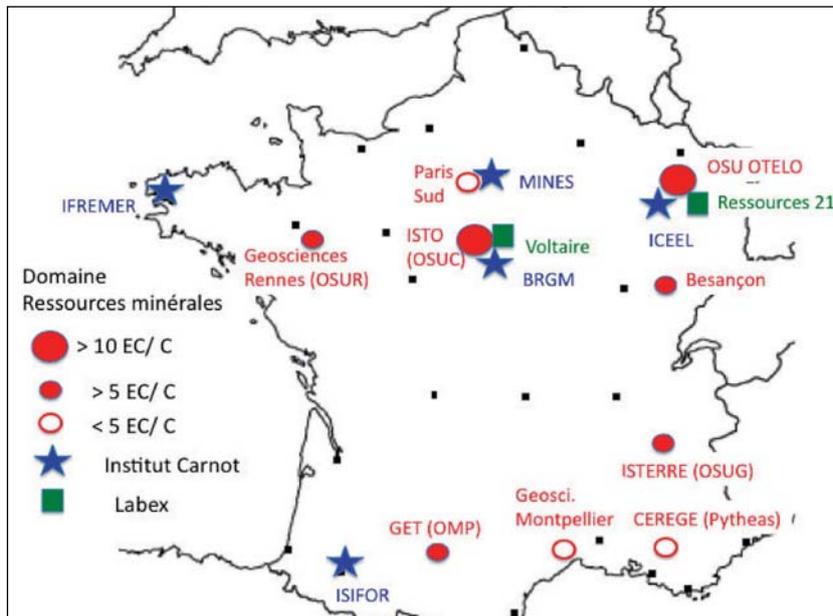


Figure 1. Principaux laboratoires, Labex et Instituts Carnot intégrant une forte composante dédiée à l'étude des concentrations minérales (document élaboré spécifiquement pour l'article).

### Les sources de financement de la recherche en métallogénie en France

En ce qui concerne les **UMR**, le MENESR finance la quasi-totalité du personnel dédié à la recherche nationale au travers des organismes, des établissements et des universités françaises. Les financements actuellement disponibles pour la recherche ne constituent qu'environ 10 à 15% du fonctionnement des unités, et ne peuvent soutenir des programmes de recherche. La plupart des chercheurs financent leurs projets en répondant aux appels d'offres institutionnels ou de l'Union européenne, et en sollicitant des partenariats avec les industriels.

16. Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche.

17. Institut universitaire européen de la mer.

### Les appels d'offre thématiques

#### *Appels d'offres de l'ANR<sup>18</sup> (MENESR) et l'ADEME<sup>19</sup> (MEEM)*

Dans ses appels d'offres annuels, l'ANR a explicitement indiqué, depuis deux ans (appels d'offres 2014-2015, défi 1 « Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique »), la possibilité de soumettre des projets traitant de problématiques relevant de la connaissance de la formation des ressources (prospection, métallogénie). Quelle qu'en soit les causes (taux de succès moyen à l'ANR déjà bas, de 8 à 10%, projets mal conçus, désintérêt des « reviewers » vis à vis de la thématique), le taux de succès actuel est exceptionnellement bas pour ce domaine. L'ADEME soutient activement des projets, traitant plus particulièrement du recyclage et de la substitution.

#### *Le programme CESSUR<sup>20</sup> (Comité thématique 5<sup>21</sup>) du CNRS-INSU*

Le programme TelluS regroupe cinq « Actions », correspondant aux comités thématiques (CT), en charge notamment de l'évaluation des réponses aux appels d'offres du domaine Terre Solide du CNRS-INSU. L'objectif principal de ces actions est de financer des projets dont les budgets sont notablement inférieurs à ceux pouvant être obtenus auprès d'autres agences de financement françaises et/ou internationales. Seuls les projets d'un montant maximal de 15 000 euros sont éligibles et transmis aux comités pour évaluation. Le financement ne concerne qu'une année. L'appel à projet CESSUR du CNRS-INSU (Action et Comité thématique 5) vise à l'émergence, la consolidation, la mise en place d'actions structurantes aux frontières des mondes académiques et industriels sur des sujets émergents ou qui nécessitent un soutien complémentaire. Une priorité est donnée aux thèmes suivants : Énergies non carbonées, Action bassins sédimentaires, Ressources minérales et Enjeux environnementaux. Les dernières années, la plupart des projets soumis concernait les ressources minérales.

#### *Le rôle des Instituts Carnot*

Le dispositif Carnot s'inscrit dans le pacte pour la recherche, dont l'un des objectifs est de favoriser le transfert de technologies, le partenariat entre laboratoires publics et entreprises et le développement de l'innovation. Il vise à reconnaître la capacité de structures de recherche effectuant des missions d'intérêt général, à collaborer efficacement avec des partenaires socio-économiques, notamment avec des entreprises, et tout en renforçant leur visibilité, à accorder à celles-ci des moyens

financiers supplémentaires (par rapport à leur dotation budgétaire) qui les soutiendront pour pérenniser leurs compétences scientifiques et technologiques et pour développer et professionnaliser leurs relations partenariales. Ce dispositif, qui s'inspire d'expériences réussies dans plusieurs pays européens (Instituts Fraunhofer, en Allemagne, par exemple), a vocation à améliorer la visibilité de la recherche technologique française en donnant aux instituts Carnot une image commune de compétence, d'efficacité et de professionnalisme.

Les structures labellisées Carnot, appelées « Instituts Carnot », reçoivent de l'ANR un abondement financier, calculé en fonction du volume des recettes tirées des contrats de recherche partenariale. Le label Carnot est attribué par le MENESR sur proposition de l'ANR. Les instituts ont été labellisés pour une période de 5 ans (2011-2015), et un nouvel appel d'offres et examen des candidatures est en cours. Dans le Carnot II, 34 Instituts ont été labellisés.

Dans le domaine des Ressources, on mentionnera les instituts Carnot suivants :

- IFREMER : développements technologiques pour le milieu marin ;
- BRGM : ensemble de ses activités, ressources minérales et contribution à la sécurité des approvisionnements ;
- Mines : sciences de la Terre et environnement, matériaux, procédés, informatique, management ;
- ISIFOR : ingénierie responsable de l'exploration et de la production d'hydrocarbures ;
- ICEEL : Institut Carnot Énergie Environnement en Lorraine, qui regroupe les Géosciences de l'OSU OTELo (domaine des ressources, et du stockage) et les laboratoires de chimie et de physique des matériaux (IJL, Institut Jean Lamour) et des centres techniques.

Dans le domaine plus particulier des Géoressources, on mentionnera des projets inter-Carnot entre le BRGM et ICEEL (renforcer le potentiel de recherche : thèses, post-doc, cofinancements d'équipements...).

#### *L'appui des régions pour le renforcement des plateformes analytiques*

Le soutien des régions dans le dispositif de recherche est mal connu à l'échelle nationale, car il est spécifique à chaque région. Les régions viennent dans les deux plans État-Région précédents (2000-2006 ; 2007-2013) de considérablement renforcer le potentiel de recherche des laboratoires via le cofinancement avec l'État des plateformes analytiques, ce qui rejaillit sur la performance des laboratoires français impliqués dans

18. Agence nationale de la recherche.

19. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

20. Connaissance et technologie du sous-sol pour son exploitation et usage durable.

21. Ressources géologiques et développement durable.

l'étude des ressources minérales.

### L'industrie

L'industrie extractive et minière française maintient une politique assez volontariste de Recherche, Innovation et Développement sur l'ensemble du cycle des métaux et sur l'exploration (CSF IEPT, Comité Stratégique de Filière Industrie Extractive et de Première Transformation). La Business Unit (BU) Mines d'Areva par exemple a maintenu un programme couvrant les besoins depuis l'exploration jusqu'à l'environnement minier en passant par le traitement des minerais et le développement de nouvelles méthodes (géochimie, géophysique). Elle finance plus d'une dizaine de thèses ou post-docs, sur plusieurs pôles universitaires (Nancy-CREGU, Poitiers, Besançon...). ERAMET et IMERYS, ont soutenu également activement des programmes de recherche avec les UMRs.

## Les équipes françaises et les projets européens

### H2020

À l'échelle européenne, le niveau de soutien à la recherche concerne des niveaux de connaissance TRL (*Technology Readiness Level*), qui peuvent se traduire par niveaux de maturité technologique, faibles à très élevés, suivant les types de structures ou projets déclinés dans le programme H2020. Les défis de ce programme concernent des niveaux de TRL (niveaux de maturités technologiques = *Technology Readiness Level*) plus élevés et doivent déboucher sur une innovation d'excellence et une meilleure compétitivité des entreprises partenaires. Plusieurs appels d'offres ont concerné des approches relativement technologiques de l'exploitation et exploration minière en 2015, de nouveaux AO auront lieu dans les années à venir dans le défi 5 de H2020 (*Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials*). Seules les bourses ERC (*European Research Council*) pour les chercheurs et les bourses de thèses (Actions Marie Curie) couvrent les besoins de la recherche fondamentale et correspondent à des projets individuels pour les TRL les plus bas.

### ERA-NETS

Les ERA-NETS sont des réseaux européens financés par les agences nationales de la recherche. Ils couvrent un domaine intermédiaire de TRL qui laisse une part non négligeable à la recherche fondamentale, mais en relation avec des problèmes posés par l'industrie à l'échelle de différents pays européens impliqués dans le financement de ces structures.

### ERA-NET ERA-MIN et ERA-NET cofund « Raw Materials »

Le projet ERA-MIN est un ERA-NET sur les ressources minérales non-énergétiques, dites aussi « métaux stratégiques » ou « critiques », pour une durée de quatre ans. Coordonné par le CNRS, ce consortium comprenait 11 partenaires de 9 pays : France (CNRS), Allemagne (BMBF, Jülich), Suède (VINNOVA, SGU), Pays-Bas (M2i), Finlande (TEKES), Espagne (CDTI), Portugal (FCT), Pologne (NCBiR), Hongrie (MBFH). Il a fonctionné entre 2011 et 2015 et a constitué le socle d'un grand réseau européen de la communauté des matières minérales. ERA-MIN est structuré autour de trois thématiques principales : i) les questions transverses telle que l'intelligence minérale (définition de la criticité et de ses indicateurs, analyse des cycles de vie, analyse et description des procédés industriels, des flux de matières, perceptions et acceptabilités sociales, formation...), ii) les ressources primaires (ressources des milieux continentaux, ressources marines, impacts environnementaux) et iii) les ressources secondaires (recyclage) et substitution.

En France, l'ANR, dans le domaine des ressources primaires, et l'ADEME, dans le domaine du recyclage, ont financé partie ou totalité des différents appels d'offre d'ERA-MIN. Depuis 2016, cet ERA-NET est en demande de prolongation sous le nom de l'ERA-NET cofund « Raw Materials » et présentera de nouveaux appels d'offre pour 2017.

### ERA-NET EuroGeoSurvey

Un Era-net « Applied geosciences » basé sur le réseau des services géologiques européens (EuroGeoSurvey) est également en cours de mise en service avec comme pilote français le BRGM.

### KIC Raw Materials<sup>22</sup>

Les KICs « Communautés de la Connaissance et de l'Innovation », mises en place par l'Institut européen d'innovation et de technologie (EIT), sont des instruments essentiels de la politique européenne ayant pour finalité de constituer un levier de croissance économique et de compétitivité en renforçant la capacité d'innovation des pays membres. Un sujet majeur des KICs concerne le défi des matières premières et de leur utilisation dans le cadre de technologies de plus en plus sophistiquées et d'une démographie croissante (KIC Raw Materials). Ce projet réunit 100 partenaires, issus de 20 pays de l'Union européenne, provenant de l'industrie, de centres nationaux de recherche et de développement et d'universités européennes, qui participent à cette communauté structurée autour de 6 centres dits de « co-location » situés à Espoo (Finlande), Varsovie (Pologne), Leuven (Belgique), Lulea (Suède), Metz (France, Univ de Lorraine) et Rome (Italie).

22. Voir article dans ce numéro.

Le centre de colocation de Metz est plutôt tourné vers les matériaux, mais à vocation à faire le lien entre les besoins des universités et industries françaises et allemandes, et le reste du réseau dans tous les domaines, de la prospection des ressources à leur recyclage. Le KIC Raw Materials facilite surtout le montage de projets très appliqués qui devraient déboucher sur le montage de « *start up* », mais aussi devrait faciliter le montage de projets dans le domaine de la formation (Écoles d'été, formation continue, ...) et des réseaux RID<sup>23</sup> européens.

### Enseignement et savoir-faire : formation des futurs cadres de l'industrie minière

Durant la dernière décennie, les formations existantes ont produit un nombre significatif de géologues (ingénieurs masters, docteurs), qui ont trouvé, pour un grand nombre d'entre eux, un emploi dans des délais très raisonnables. 2000-2010 a été probablement la période la plus faste pour l'emploi des géologues depuis les années 1970. Après l'euphorie, la dure réalité du contexte international de l'emploi a considérablement changé la donne. Alors que les principaux groupes français réclamaient dans les années 2007-2008 un accroissement du nombre d'ingénieurs formés, l'embauche est quasi nulle dans certains secteurs à l'échelle internationale depuis deux ans (prospection minière, en particulier). Certains secteurs se maintiennent mieux que d'autres, comme ceux qui ont trait au développement des mines existantes (suivi d'exploitation, géométallurgie, environnement minier).

Le problème de l'emploi à court et moyen terme, dans le contexte actuel d'une forte chute du cours des métaux, est un problème difficile et dont la prédictibilité est incertaine. La constante de temps de la réactivité universitaire est également symptomatique de la difficulté des formations à s'adapter en temps suffisamment courts. Même si 2016 est la première année pour laquelle autant de postes de maître de conférences (MCF) et de professeur (PR) sont proposés dans le domaine des ressources (MCF : Besançon, Nancy, Toulouse ; PR : Grenoble, Montpellier), l'indépendance et la régionalisation des Universités est, par ailleurs, en partie à l'origine du manque de concertation et de réactivité à l'échelle nationale.

### Moyens et structures d'enseignement

#### Les Écoles d'ingénieurs

##### ENSG

Depuis plus de 100 ans, l'École nationale supérieure

de Géologie forme des ingénieurs-géologues, notamment à l'observation plus ou moins sophistiquée d'objets naturels sur une vaste gamme d'échelles spatiales et temporelles. L'ENSG propose un enseignement complet et varié, avec comme spécialisation, pour ce qui concerne plus particulièrement les ressources minérales : le Génie et la Gestion des matières premières minérales, la Géologie numérique, la Gestion des ressources en eau et de l'environnement, ceci en relation étroite avec de grands groupes industriels.

##### Les Écoles des Mines

Les écoles des Mines forment des ingénieurs généralistes, avec de nombreuses spécialisations.

- On retiendra pour **Mines Nancy**, une spécialisation en Géo-ingénierie qui vise à modéliser dans une optique de prédiction de leur comportement ou de dimensionnement les ouvrages (mine, carrière, autoroute, fondation, bâtiment).
- **MINES ParisTech** propose également une formation d'ingénieur généraliste, qui comporte des options comme Géosciences, Géostatistique et Sol et Sous-sol, qui traitent, entre autres, des Ressources minérales.
- **L'École des Mines d'Alès** propose des formations dans le domaine du Management et l'Ingénierie de l'énergie et de l'environnement, en particulier dans le domaine des Ressources minérales et de la Conduite d'exploitation.

Il est à noter que deux chaires ont été créées par les Écoles des Mines : la Chaire « Mines et société » (Mines Nancy) qui cherche à dépasser l'approche purement technique des projets miniers en favorisant la pluridisciplinarité, avec des sujets comme, par exemple, l'acceptabilité sociale, et la Chaire d'« Économie, finance et gestion des commodités » (MINES ParisTech), qui a pour objectif principal de développer une formation internationale en liaison étroite avec l'OCP<sup>24</sup> (Maroc).

##### LaSalle Beauvais

En 5 années de cursus, des ingénieurs sont formés dans différents domaines, dont le secteur Géologie et environnement (Mines et carrières, risques, géotechnique).

##### Les Universités

Dans le parcours L-M-D (Licence, Master, Doctorat), les Masters constituent la première spécialisation marquée. La partie Doctorat est étroitement liée à la spécialité des UMR qui est décrite avec les laboratoires de recherche. La France a gardé un grand nombre de masters, et un certain nombre de formations spécialisées ou non qui servent le domaine des ressources minérales, depuis l'étude de la géologie (terrain, analyse structurale, géodynamique) jusqu'à celle des gisements, de

23. Règlementation du transport des marchandises dangereuses.

24. Office chérifien des phosphates.

leur minéralogie, du traitement des minerais, et enfin, de l'impact environnemental (eau, sols). L'ensemble des métiers des Géosciences peut donc être sollicité. Dans les paragraphes suivants, on insistera sur les formations dédiées aux ressources minérales non énergétiques. Une liste non exhaustive des masters permettant d'acquérir une formation, soit généraliste dans le domaine de la géologie ou des spécialisations dédiées aux bassins, soit traitant du domaine sol-eau-environnement, est également dressée. Toutes les formations, notamment celles du domaine de la géophysique, technique importante également pour la prospection minière, ne sont pas listées.

Deux universités proposent des formations spécifiquement dédiées aux Ressources minérales.

#### Université de Lorraine

Le Master Géosciences Planètes Ressources Environnement (GPRE) s'appuie sur le département des Sciences de la Terre, l'École de Géologie et l'École des Mines, et comporte un parcours Ressources minérales. Cette spécialité avec trois parcours permet aux étudiants d'acquérir des compétences dans le domaine des ressources minérales, leur exploration, la compréhension des mécanismes et des conditions de formation des concentrations métalliques dans leur contexte géodynamique, la connaissance du contexte économique, l'utilisation des outils d'exploration minière, l'exploitation, la gestion et la valorisation des ressources minérales. La pluridisciplinarité dans le domaine des ressources en fait l'attractivité car elle s'appuie sur l'expertise de l'OSU OTELo et le laboratoire d'excellence LABEX RESSOURCES 21. Elle est, de plus, la seule formation de Master dans ce domaine à combiner exploration, exploitation, en incluant les méthodes du génie minier et de la valorisation des minerais.

#### Université d'Orléans

- Le parcours Exploration et géomatique des ressources minérales (EGERM) est délocalisé à l'UQAM de Montréal pour l'intégralité de la promotion avec une forte partie terrain essentiellement au Québec, intégrant la mise en œuvre des disciplines-socle de la géologie vers des finalités appliquées, notamment vers l'industrie des ressources minérales (mines métalliques, minéraux industriels, granulats...).
- Le parcours de Master « ENAG-2GR » (Géologie et Gestion durable des Ressources minérales) est proposé depuis 2013 par l'OSUC en collaboration avec le BRGM (BRGM-Campus), l'Université Moulay Ismail de Meknès et la compagnie Managem, et se distingue par une forte composante de terrain, et des formations spécialisées, notamment sur la gouvernance des activités

minières, et la conduite de projets miniers.

#### Autres parcours universitaires

- L'**Université Paul Sabatier** à Toulouse propose également un Master Géosciences Terre Planète Ressources Matériaux qui reste généraliste mais comporte différents parcours dont l'un sur les matériaux à finalité industrielle.
- L'**Université de Rennes** propose un Master intitulé RMP : Ressources minières et pétrolières, avec une formation qui reste généraliste, avec des composantes analyse structurale, datation, et dynamique des bassins.
- L'**Université de Besançon** propose un cursus dans le cadre du réseau national « Figure » regroupant 22 universités, constituant une nouvelle voie d'accès à des fonctions d'ingénieur géologue expert au travers des universités. Ce Cursus Master en Ingénierie Géologie appliquée sur 5 ans propose un parcours sur les ressources minérales pouvant être effectué par apprentissage pendant les deux années de Master.
- L'**Université de Grenoble** propose un master pro en sciences de la terre et de l'environnement - spécialité géosciences : exploration, risques, plutôt spécialisé en géophysique des réservoirs.

Les formations proposées dans les autres universités peuvent comporter des cours sur les Ressources minérales ou les problématiques y afférant mais sans spécialisation marquée dans ce domaine<sup>25</sup>.

Les masters comportant des spécialisations plutôt dans le domaine des bassins mais en général avec une coloration « ressources pétrolières » et les Parcours spécialisés dans le domaine de l'environnement et de l'eau qui peuvent aborder les problèmes de transport des métaux en subsurface et d'environnement minier sont de manière non exhaustive mentionnés dans le tableau 1.

Des masters généralistes sont proposés dans de très nombreuses Universités et parfois des mentions Géorressources qui peuvent concerner les ressources énergétiques et l'eau : Lyon 1, Brest, Chambéry, Grenoble, Paris 6 et 7, Nantes, Rennes, Nice- Sophia Antipolis, Strasbourg...

#### Autres mastères

- Mastère Spécialisé « Exploitation et Environnement Miniers » (2EM), École des Mines d'Alès : exploitation et environnement, management et gestion durable des ressources (Green Mining).
- Mastère spécialisé en Géostatistique de Mines-Paristech « Cycle de formation spécialisée en géostatistique » : géostatistique, cartographie des ressources, exploitation minière.

25. Voir [www.mineralinfo.fr/page/organismes-formation](http://www.mineralinfo.fr/page/organismes-formation)

26. Centre d'études supérieures pour les exploitations à ciel ouvert.

Universités	Masters spécialisés
Université de Rennes	Master européen « Basin master ».
Université de Montpellier	Géologie de l'Exploration et des Réservoirs (GER).
Université de Pau et des Pays de l'Adour	Master génie pétrolier.
Université de Paris Saclay	Parcours « Bassins sédimentaires, ressources et paléoclimats » avec des modules diagenèse et géochronologie. <b>Parcours spécialisés dans le domaine de l'eau et de l'environnement, avec une coloration minière.</b>
Université de Lille1	Master Géoressources, géorisques, Eau et sols, Gestion des ressources minérales et minières et l'après-mine.
Université de Dijon	Master Geobiosphère, Géomatériaux sédimentaires, Impacts climatiques.
Université Paul Sabatier Toulouse	Master Eau, Sols, Environnement.
Université Joseph Fourier Grenoble	Master Eaux souterraines professionnalisant.
Académie d'Aix-Marseille	Master Sciences de l'environnement terrestre.
Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse	Master Hydrogéologie, Sol et Environnement.
Université de Paris-Saclay (Versailles, Paris Sud)	Master Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement- Hydrologie/Hydrogéologie.
Université de Lorraine	Master GPRE- Parcours Sols, Eau, Environnement.
Université de Besançon	Master Eau, Géotechnique et Environnement.

Tableau 1. Masters spécialisés bassins (ressources pétrolières), environnement et eau.

- Mastère spécialisé CESECO<sup>26</sup>, MINES-Paristech : caractéristiques géologiques, géomécaniques et hydrogéologiques, évaluation économique, environnementale et sociale.
- MINES-ParisTech anime, par ailleurs, une formation spécialisée « Administration publique des mines » (CESAM).

### Les formations internationales

À l'université de Lorraine, un cursus *Erasmus Mundus*, **EMERALD** (European Master in Georesources Engineering) a été mis en place en 2014. Il couvre deux années d'enseignement dans le domaine de l'ingénierie des ressources et offre une forte ouverture internationale aux étudiants, qui peuvent suivre des formations à raison d'un semestre complet dans les 4 Universités du consortium (Liège-Nancy-Lulea-Freiberg) qui représentent les quatre pôles phares européens, notamment dans le domaine de la géométallurgie. Les étudiants réalisent un projet de fin d'études de 6 mois dans une Université partenaire ou dans l'industrie. Le programme comprend également une vue plus large sur l'analyse du cycle de vie des ressources minérales et le potentiel de la « mine urbaine ». Il comprend une série de séminaires professionnels pour faire la lumière sur les facteurs stratégiques d'approvisionnement en matières premières minérales, les défis économiques et environnementaux, les dimensions sociales de l'exploitation minière, etc.

### Master international « Matières Premières Minérales, Ingénierie et Management des Risques »

Mines Nancy et l'École de Géologie de Nancy (ENSG) ont décidé d'adopter une stratégie commune de développement de leurs formations dans le domaine des matières premières minérales afin de pérenniser l'expérience acquise pendant 37 ans à travers le CESEV<sup>27</sup> et le CESTEMIN<sup>28</sup>. La formation débouche sur un Master à finalité professionnelle dans le domaine des mines et des carrières. La formation proposée est orientée vers l'ensemble du cycle de l'exploitation des minerais qui va de la reconnaissance des gisements au traitement et au recyclage des résidus miniers, en passant par les méthodes d'exploitation. Un accent fort est mis sur la prévention des risques pour l'homme et la protection de l'environnement. La formation s'appuie sur des visites de sites industriels et sur des expérimentations sur plateformes industrielles.

### Problèmes et avantages spécifiques à la France de ces cursus à l'étranger

Beaucoup d'étudiants en master n'ont pas le niveau suffisant en anglais comparé à leurs homologues européens : allemands, italiens, espagnols ou portugais. Les mémoires de masters ou les thèses sont systématiquement écrits en anglais dans bon nombre d'universités de ces pays européens. Les cours enfin y sont dispensés en anglais, ce qui attirent de nombreux étudiants étrangers

27. Centre d'enseignement supérieur en exploration et valorisation des ressources minérales.

28. Centre d'études supérieures des techniques minières.

pour lesquels le français n'est plus une seconde langue (Maghreb par exemple) ou ne l'a jamais été (Inde, Chine, Amérique du Sud). L'avantage du français est certainement la possibilité de dispenser un enseignement aux communautés francophones (Afrique, en particulier) mais cela nous prive des énormes réservoirs d'étudiants d'Amérique du Sud, Inde, Chine, et pays anglo-saxons. En cela, une brochure concernant la formation continue dispensée dans le cadre de nos formations sur les Géoressources en France a récemment été publiée<sup>29</sup> en collaboration avec le MAE<sup>30</sup> et le MENESR.

## Thématiques de recherche et financements pour le futur

### L'avenir : des approches intégrées

L'étude des ressources minérales a traditionnellement fait partie de l'activité des équipes de recherche en Géosciences. Cependant, l'évolution des concepts miniers, notamment le fait de ne pouvoir envisager une exploitation sans avoir une vision intégrée de l'ensemble du cycle, change considérablement le positionnement des travaux sur les métaux. L'ouverture d'une mine nécessite en effet de parfaitement connaître : i) les réserves au long terme, et donc de prédire les durées d'exploitation, ii) la nature du minerai qui conditionne les choix de traitement et les implications environnementales, iii) d'évaluer les conditions de mise en place du projet minier du point de vue social et environnemental. Les nouveaux concepts de mine propre (*green-mining*) doivent en effet être de plus en plus convaincants pour que l'activité minière soit socialement acceptée. Enfin, l'emploi créé n'aura du sens que s'il est durable, ce qui implique des études économiques et sociales rigoureuses.

L'étude des métaux devient donc une approche multidisciplinaire, transverse et intégrée qui met en jeu tout le savoir depuis la géologie, en passant par les aspects ingénierie (technologies de l'exploitation, génie minier, génie minéral et chimique) jusqu'à la mise en œuvre de tous les savoirs dans le domaine environnemental (de la restauration des sols jusqu'à l'écotoxicologie), ceci dans un contexte de mondialisation qui exige d'appréhender le cadre et les conséquences sociétales et économiques (Fig. 2). La mine d'il y a à peine 30 ans est révolue au profit de concepts globaux en partie géopolitiques. Ces concepts sont régulièrement fragilisés par les fluctuations permanentes de l'économie mondiale. Le temps où les filons étaient exploités temporairement dans leur partie riche (écrémage de courte durée) souvent pour un seul métal et les mines étaient ensuite fermées au gré du cours des

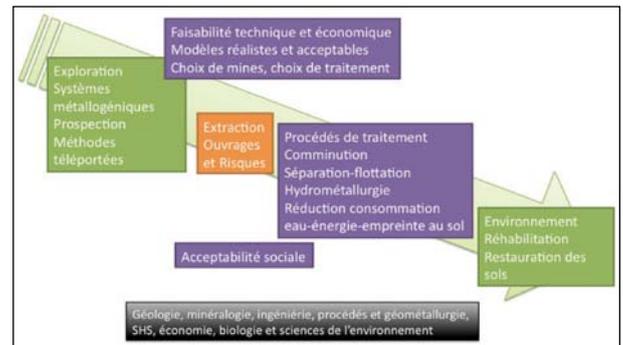


Figure 2. De l'exploration à la réhabilitation, une approche transverse mobilisant un grand nombre de compétences (document élaboré spécifiquement pour l'article).

métaux et au mépris de toute réhabilitation, sont des approches du « Moyen Âge » bien qu'elles aient perduré jusqu'au XX<sup>e</sup> siècle.

En conclusion, les nouveaux concepts doivent être propres, durables aussi bien pour la planète que pour la société. C'est donc un véritable défi pour l'économie occidentale qui ne sait pas lisser les effets des fluctuations temporaires des cours des métaux, c'est à dire exploiter momentanément à perte pour déboucher en pleine maîtrise sur les périodes plus fastes, à l'inverse de l'économie minière chinoise, devenue leader planétaire de l'exploitation de plus de 40 types de métaux, grâce à un modèle économique radicalement différent mais, d'un autre côté, peu respectueux des contraintes environnementales et sociétales.

Ce contexte global et durable du cycle des activités minières dans le respect de l'environnement et des sociétés est un nouveau challenge pour les scientifiques qui doivent aborder ces problèmes de manière transverse et complémentaire, tout en gardant comme lignes directrices l'excellence de leur recherche, l'innovation, et la transmission de leur savoir. Les secteurs à renforcer sont en particulier :

- la **géométallurgie**, qui consiste à établir un point entre minéralogie de pointe, propriétés de surface, et comportement physicochimiques dans les procédés de séparation, les plus propres et les moins consommateurs d'énergie ;
- l'**hydrométallurgie** qui, dans les décennies à venir, sera l'approche reine pour le traitement des minerais, qui seront, nécessairement plus pauvres, plus difficiles à traiter et à séparer, et qui permettra la covalorisation, si possible moins consommatrice d'énergie (GDR PROMETHÉE : procédés hydrométallurgiques pour la gestion intégrée des ressources primaires et secondaires) ;
- l'**enseignement du cycle des métaux** de l'économie circulaire et de la vision transversale du cycle des

29. [www.mineralinfo.fr/actualites/france-place-choix-formation-continue-secteur-ressources-minerales](http://www.mineralinfo.fr/actualites/france-place-choix-formation-continue-secteur-ressources-minerales)

30. Ministère des affaires étrangères.

ressources depuis l'écoconception, jusqu'au recyclage.

Enfin, il serait souhaitable d'améliorer les collaborations entre géosciences, sciences de l'environnement et sciences humaines, économiques et sociales. On a vu plus haut l'échec de la prédictibilité des cours des matières premières et donc des perspectives d'emploi. Actuellement, seuls des spécialistes isolés ou des journalistes réalisent, soit des commentaires au jour le jour, soit un travail plutôt de veille, de compilation sur l'économie des ressources. Il serait temps que les formations universitaires, spécialisées en économie, s'emparent du sujet. La prédiction des causes de fluctuation des cours des métaux, l'appréhension globale des grandes évolutions dans les consommations et les évolutions géopolitiques mondiales, tout comme les pénuries potentielles (risque d'approvisionnement, risque de conflits...) dont s'alarme régulièrement la communauté européenne, sont des paramètres de premier ordre qui menacent régulièrement l'économie de nos grandes industries.

### Renforcer et structurer les forces à l'échelle française

Le bilan des forces dans le domaine de la recherche et de l'enseignement au niveau français montre une réelle richesse souvent méconnue. Beaucoup d'efforts sont cependant le fait ponctuel et individuel de tel laboratoire, industriel, ou structure d'État, et peu le résultat d'efforts de structuration nationale, mis à part le groupe Miroir<sup>31</sup> ERA-MIN, pour accroître notre visibilité à l'échelle européenne et internationale. Dans ce cadre très concurrentiel, européen et international, il apparaît nécessaire de mettre en réseau tous les intervenants afin d'assurer une connaissance mutuelle des acteurs nationaux, une visibilité du

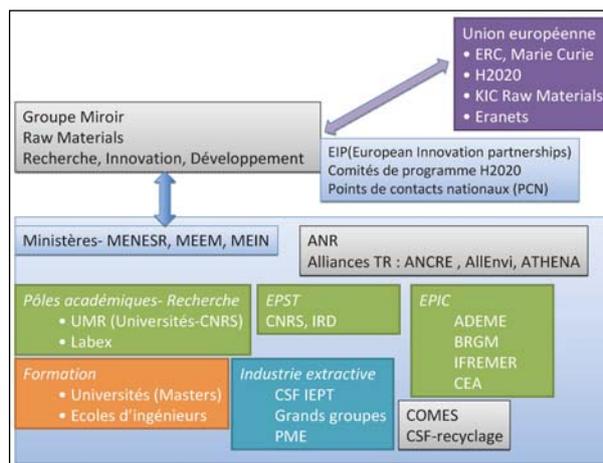


Figure 3. Structuration du « Groupe Miroir Raw Materials » regroupant acteurs académiques, industriels et réseaux ou groupes de réflexion existants dans le domaine des ressources minérales (document élaboré spécifiquement pour l'article).

potentiel français, et une meilleure coordination des forces pour faire entendre la voix de la R&D française : la création d'un groupe national Miroir « Raw Materials » regroupant industriels, académiques et structures de transferts est en cours de montage et devrait répondre dès l'automne 2016 à ce besoin (Fig. 3). Il est accompagné du site d'information sur les géoressources que constitue le portail français des matières premières minérales primaires et secondaires non énergétiques, MinerallInfo ([www.mineralinfo.fr](http://www.mineralinfo.fr)), édité par le Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique, en charge des mines et des matières premières minérales, en partenariat avec le Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer et le Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche<sup>32</sup>.

## La vision de l'Alliance des minerais, minéraux et métaux (A3M) pour un renouveau minier en France

Claire de Langeron<sup>1</sup> et Nicolas Créon<sup>2</sup>.

### Pour situer A3M

A3M résulte d'une alliance, née en 2014, entre la Fédération des minerais, minéraux et métaux non ferreux (FEDEM) et la Fédération française de l'acier (FFA). A3M est l'organisation professionnelle représentant les entreprises françaises de l'industrie minière, de la production, de la transformation et du recyclage des métaux. Ce secteur occupe une place stratégique dans la chaîne de valeur de chacun des autres grands secteurs industriels français

(construction, énergies, notamment renouvelables, aéronautique, automobile, nouvelles technologies, chimie, etc.). A3M fédère environ 400 entreprises (PMI et grandes entreprises internationales), représentant 80 000 emplois et 43 milliards d'euros de chiffre d'affaires.

La Chambre syndicale de l'industrie minière (CSIM), membre d'A3M, représente les entreprises ayant une activité minière en France : juniors d'exploration, PME et grands groupes internationaux. Toutes basées en France, ces entre-

31. Club informel des acteurs français.

32. Voir l'article de Rémi Galin dans ce numéro.

1. Déléguée Générale de l'Alliance des minerais, minéraux et métaux (A3M). Courriel : [claire.delangeron@a3m-asso.fr](mailto:claire.delangeron@a3m-asso.fr)

2. Responsable Énergie – Changement climatique – Mine (A3M). Courriel : [nicolas.creon@a3m-asso.fr](mailto:nicolas.creon@a3m-asso.fr)

prises ont, pour la plupart, des activités en France (métropole, Guyane ou Nouvelle-Calédonie) et à l'étranger.

## Un important passé minier en France

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la **France métropolitaine** a été un des principaux pays miniers dans le monde. Les mines françaises approvisionnaient l'industrie en métaux de base (fer, plomb, cuivre, zinc...), en métaux précieux (argent, or...), en métaux aux applications plus « techniques » (tungstène, étain, germanium, uranium...), en minéraux (barytine, fluorine) et, bien sûr, en charbon<sup>3</sup>. Le développement de l'activité minière en France n'a pas été linéaire au cours du siècle dernier et le secteur a connu plusieurs ralentissements d'activité. Le dernier ralentissement en date, observé à partir des années 1980, s'apparente en fait à un arrêt des activités minières en France métropolitaine. En effet, **depuis l'arrêt de la mine d'or du Bourneix en 2001 et de celle de Sal-signe en 2004, plus aucun métal n'a été extrait du sol métropolitain** (à l'exception toutefois des sous-produits de l'extraction de kaolin d'Échassières : voir article dans ce numéro).

**La crise des prix des terres rares des années 2011-2013** a révélé la vulnérabilité de nos chaînes industrielles vis-à-vis de leurs approvisionnements en matières premières, certains approvisionnements étant contrôlés par un nombre très restreint de pays. Depuis cette crise et face à la demande croissante en métaux stratégiques, utilisés par l'industrie de hautes technologies en particulier, le Gouvernement manifeste sa volonté de pérenniser l'approvisionnement de l'industrie française au travers du développement du recyclage et de l'extraction minière et appuie sa politique en matière minière sur deux axes : la révision du Code minier et la publication d'un livre blanc sur la mine responsable. Parallèlement, la profession, rassemblée au sein d'A3M, s'est fortement mobilisée et plusieurs entreprises ont lancé de nouveaux projets d'exploration ou d'exploitation.

## Vers un nouveau minier ?

**Un regain d'intérêt de la part d'investisseurs pour le sous-sol métropolitain** se fait sentir depuis cinq ans environ puisque huit permis exclusifs de recherche minière (PERM) ont été délivrés (voir figure 2 de l'article de Rémi Galin dans ce numéro). Les six permis détenus par **Variscan Mines** sont situés en Bretagne et dans les Pays de la Loire et portent sur la recherche d'une très grande variété de métaux : cuivre, zinc, plomb, or, argent, étain, tungstène, niobium, tantale, molybdène, lithium, indium, germanium. Le permis de **Cominor**, situé dans le Limousin, porte sur la recherche d'or, de cuivre, d'argent, de zinc, d'antimoine, d'étain et de tungstène. La société **Imerys** a également

obtenu un permis de recherche en Auvergne pour du lithium, de l'étain, du tantale, du niobium, du tungstène et du béryllium. En outre, plusieurs permis exclusifs de recherche sont encore en cours d'instruction.

Dans le même temps, le Groupe **Garrot-Chailac** a obtenu deux concessions d'une part pour l'exploitation de bauxite dans l'Hérault et d'autre part pour celle de la fluorine dans le Morvan (projet en cours de développement). La société **Sodicapei** (Groupe **Vicat**) a, quant-à elle, obtenu une concession pour de la bauxite dans l'Hérault. En **Guyane**, où l'activité minière n'a jamais cessé, plus d'une douzaine de permis exclusifs de recherche, une vingtaine de concessions et six permis d'exploiter sont en cours de validité.

## Des mines en France : un atout

Les raisons de redévelopper une activité minière en France métropolitaine sont nombreuses. Tout d'abord pour des **raisons géologiques et techniques**. La publication récente par le BRGM de 98 fiches techniques de cibles minières potentielles<sup>4</sup> et les travaux en cours des entreprises titulaires de PERM confirment la richesse de notre sous-sol et l'intérêt qu'il y a à envisager sa valorisation, d'autant plus que la France dispose déjà des compétences et des infrastructures nécessaires à la construction et au fonctionnement de mines et que l'inventaire minier, réalisé dans les années 1980, n'a pas été valorisé.

Sur un **plan économique** ensuite. La reprise de l'activité minière constitue une opportunité de revitalisation, de création de valeur et d'emplois notamment dans les territoires ruraux ou ceux en quête d'une diversification de leurs activités. Par ailleurs, la production de métaux extraits en France permettrait, comme évoqué plus haut, de réduire la dépendance en métaux de l'industrie française vis-à-vis de certains pays tiers (Fig. 1) et d'améliorer la balance commerciale du pays.

Enfin, sur le **plan de l'approvisionnement de notre société en matières premières**. Pour répondre aux besoins croissants de nos sociétés, des ressources d'origine minière sont indispensables. En effet l'offre physique en déchets métalliques reste insuffisante et par ailleurs, la collecte et le recyclage ne permettent pas toujours de valoriser la quasi-totalité des métaux contenus dans les déchets. L'extraction minière et le recyclage constituent donc bien deux sources d'approvisionnement complémentaires et incontournables.

## La réforme du code minier : la profession très engagée mais dans l'expectative

Un processus de révision du code minier a été engagé par les pouvoirs publics en septembre 2012, dans

3. La liste des substances de mines est fixée par l'article L. 111-1 du Code minier. Le projet de réforme de ce code ne prévoit pas de révision de cette liste. Toutes les autres substances relèvent du régime légal des carrières.

4. Réévaluation du potentiel français en ressources minérales, BRGM/RP-65165-FR, BRGM, février 2016.

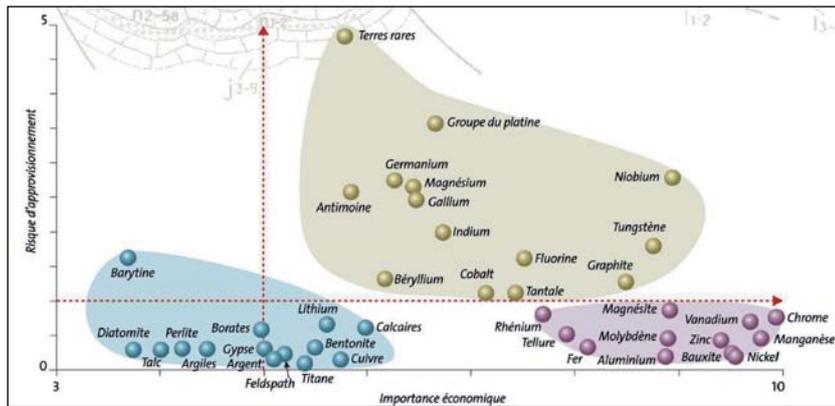


Figure 1. Les matériaux critiques pour l'Union européenne (Source : Braux C. et Christmann P., 2012. "Facteurs de criticité et stratégies publiques française et européenne. Enjeux et réponses", Géosciences n° 15, juin, d'après Ad-hoc working group on defining critical raw materials, 2010, Critical raw materials for the EU).

une perspective de relancer l'activité minière en France métropolitaine et de doter notre pays d'une version actualisée et modernisée de son Code minier qui tienne compte, en particulier, des nouvelles attentes de la société civile à l'égard de notre industrie.

À cette fin, le Gouvernement a missionné un groupe de concertation informel réunissant des représentants d'industriels, d'associations de protection de l'environnement, de syndicats de salariés, de collectivités territoriales, de l'État, ainsi que des experts. Dans son rapport rendu le 10 décembre 2013, ce groupe de travail a proposé de réviser environ 10% du code actuel. Les innovations portaient en particulier sur une information et une participation du public renforcées, au travers notamment d'un groupement momentané d'enquête, sur l'application aux demandes d'autorisation d'ouverture de travaux miniers (AOTM) des procédures applicables aux Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE<sup>5</sup>), et sur une clarification du régime de solidarité nationale couvrant les dégâts miniers. Il prônait également une rénovation de la fiscalité minière au profit des collectivités locales, sans faire de proposition détaillée.

Bien qu'ayant participé activement à ces travaux, la profession n'a pas soutenu l'intégralité du contenu du rapport final, en particulier à cause de la reprise directe d'un certain nombre de procédures issues du code de l'environnement sans tenir compte des spécificités des industries extractives. Ce rapport a ensuite servi de base de travail aux services du ministère de l'environnement pour rédiger un **projet de loi de réforme du code minier, soumis à consultation entre mars et septembre 2015**.

Contrairement à ce qui a été souvent répété dans les médias, le code minier en vigueur ne date pas de Napoléon. Le fait que certains principes soient anciens (par

exemple le principe d'une indispensable autorisation de l'État pour pouvoir explorer et exploiter le sous-sol, à la différence du droit minier anglo-saxon fondé sur la propriété privée du sous-sol) ne signifie pas pour autant que le droit minier français soit obsolète. Il prend en particulier en compte l'intérêt général aux divers niveaux de la nation (État, Régions, riverains, etc.).

Il faut souligner que la législation actuelle contient déjà toutes les dispositions nécessaires à la **protection de l'environnement et de la santé** (étude d'impact, étude de danger...) et d'ailleurs, aucune des propositions faites au cours du processus d'élaboration du projet de loi ne vont dans le sens d'un renforcement de ces dispositions. En revanche, il est vrai que certains points du code minier, ne portant ni sur l'environnement ni sur la santé, doivent, selon nous, être modernisés. Modernisation qui doit légitimement s'inscrire dans le cadre du choc de simplification annoncé depuis quelques années par le Gouvernement et qui tarde à se concrétiser pour l'industrie.

Les procédures d'instruction des demandes de titres miniers<sup>6</sup> et d'AOTM doivent tout d'abord être simplifiées afin de **raccourcir les délais d'instruction**. Le travail accompli en ce sens ces dernières années par l'administration doit être poursuivi afin de passer sensiblement sous le délai actuel de 24 mois et améliorer ainsi la compétitivité des entreprises. En effet, avec de tels délais, l'industrie minière ne peut pas être compétitive face à des pays où un titre d'exploration peut être obtenu en quelques jours. Le raccourcissement des délais d'instruction peut se faire, par exemple, en effectuant en parallèle un maximum d'étapes de l'instruction et en fixant un délai fermé dans lequel doit être réalisée l'instruction des demandes d'AOTM. Au contraire, le renvoi fait dans le projet de loi aux procédures d'instruction en vigueur pour les ICPE, qui comportent des délais ouverts, nous fait craindre des délais encore allongés.

La société civile a des **attentes nouvelles** à l'égard de notre industrie et il est nécessaire que le futur code minier y réponde. Cependant, la multiplication des procédures de consultation du public contenue dans le projet de loi, et en particulier l'ajout d'une procédure renforcée d'information et de concertation du public<sup>7</sup>, entraînera inévitablement un dérapage des délais d'instruction des titres miniers. Cette procédure, d'une durée de quatre à huit mois, pourrait en effet s'ajouter à la procédure habituelle de participation du public.

5. Régime dont relèvent les carrières.

6. Les termes permis exclusifs de recherche et concession sont remplacés par titre d'exploration et titre d'exploitation dans le projet de loi.

7. La procédure renforcée d'information et de concertation du public créerait un groupement participatif constitué des représentants des populations locales concernées, d'associations de protection de l'environnement, de fédérations professionnelles du secteur minier, des collectivités territoriales concernées et de personnes choisies pour leurs connaissances particulières et expertises.

La **suppression de la mise en concurrence**<sup>8</sup> est un sujet également majeur pour la profession. Exception française, la mise en concurrence allonge inutilement l'instruction et fait courir un risque financier au demandeur du titre minier, qui a déjà réalisé un important travail de géologie<sup>9</sup> et de préparation du dossier de demande. Il serait à la place préférable que l'État renforce les outils législatifs lui permettant de retirer un titre minier qui ne serait pas correctement valorisé.

L'**après-mine**, enfin, doit faire l'objet d'une meilleure gestion afin d'offrir de meilleures garanties aux riverains d'une exploitation minière et une meilleure indemnisation en cas de dégâts miniers que l'exploitant ne serait pas en mesure de couvrir.

Commencée il y a bientôt quatre ans, la révision du Code minier semble aujourd'hui suspendue et il paraît peu probable que le projet de loi soit soumis au vote du Parlement d'ici la fin de cette législature. La **profession regrette vivement ce retard** dans l'adoption d'un texte très attendu par les investisseurs et les opérateurs miniers. En effet, le lancement et la conduite de tels projets industriels, très capitalistiques, exigent une stabilité juridique sur le long terme. Consultée et associée à ce processus de révision du Code minier, notre profession est convaincue que des règles du jeu partagées en matière de dialogue et de recours au sujet des projets d'exploration minière et des exploitations en cours, est la clef incontournable du vivre ensemble entre les parties prenantes locales et les entreprises.

## Le livre blanc « mine responsable » : une condition de crédibilité et de réussite du nouveau minier

Deuxième pilier de la relance de l'activité minière à côté de la réforme du code minier, le concept de **mine responsable** défini dans la stratégie nationale pour la transition écologique et le développement durable 2015-2020, adoptée le 4 février 2015. Afin de concrétiser ce concept, le ministre en charge des mines a engagé une concertation avec l'ensemble des acteurs économiques, institutionnels et associatifs concernés en installant un comité de pilotage en avril 2015. Le résultat de ces travaux prend la forme d'un **livre blanc** qui a vocation à être accessible à un très large public : élus, riverains, associations de protection de l'environnement, etc. Il est composé d'un document de synthèse et de treize annexes consacrées à la situation de l'industrie minière en France et en Europe, à la législation minière française, aux relations avec les parties prenantes, aux différentes étapes d'un projet minier, à l'extraction minière en Guyane et aux pratiques minières de la mine

responsable. Le livre blanc devrait être publié dans les tout prochains mois sur le site [Mineralinfo](http://Mineralinfo)<sup>10</sup>.

La profession soutient pleinement ce travail auquel elle a participé activement et espère que ce document contribuera à faire mieux connaître la réalité actuelle de l'activité minière. En effet, les phénomènes de rejet que nous observons actuellement autour des permis d'exploration s'explique souvent par une méconnaissance des techniques développées aujourd'hui par l'industrie minière et par une cristallisation sur quelques cas particuliers, séquelle de pratiques révolues.

Associée à ce livre blanc une **convention d'engagement volontaire (CEV)** de l'industrie minière est en cours d'élaboration. Cette convention contient une **vingtaine d'engagements** dépassant les exigences de la réglementation et s'appuyant sur les trois piliers, économique, social et environnemental, du développement durable. Ils portent sur la consultation du public, le dialogue environnemental, la sécurité au travail, la formation, l'intégration dans le tissu économique local, l'exploitation durable du gisement, le management environnemental, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la biodiversité et la mise en œuvre des pratiques de la mine responsable identifiées dans le livre blanc.

Au travers de ces engagements, la profession entend répondre à une partie des attentes exprimées par les parties prenantes sur le terrain et lors des consultations sur le projet de loi de révision du code minier et prouver, grâce à une labellisation, que les exploitants maîtrisent l'ensemble des impacts de leur activité. La mise en œuvre de la **démarche Mine responsable** pourra en effet être **labellisée** à l'issue d'un audit indépendant. Ce label sera construit dans les mois qui viennent par la profession avec les parties prenantes impliquées sur le livre blanc et sera amené à évoluer dans les années qui suivent.

## Et maintenant ?

Les projets les plus avancés en France métropolitaine et en Guyane pourraient aboutir à l'ouverture d'exploitations avant 2020. Mais la concrétisation d'un projet minier est longue, souvent difficile et dépend de nombreux facteurs : géologiques, économiques, environnementaux, d'acceptation locale... La relance de l'activité minière passe par une politique forte en la matière. La profession compte sur le soutien réaffirmé des pouvoirs publics pour doter rapidement notre pays d'un code minier opérationnel et attractif et pour permettre l'aboutissement des projets en cours. Notre profession continuera à s'engager pour démontrer que la France peut être à la pointe de la technologie minière et de la responsabilité sociale et environnementale.

8. Lorsqu'une demande de titre minier est déposée, elle est soumise à concurrence pendant une durée d'un mois. L'administration retient le candidat présentant les meilleures capacités techniques et financières.

9. Comme souligné par le courrier de la Société Géologique de France (SGF) du 8 avril 2015 (note de la Rédaction).

10. [www.mineralinfo.fr](http://www.mineralinfo.fr)

## Les attentes des investisseurs étrangers dans le renouveau minier français

Pierre Levin<sup>1</sup>.

### Un passé minier riche et ancien, et un contexte actuel difficile

Ceux qui envisagent d'investir dans l'exploration et l'exploitation minière en France s'appuient sur un passé minier important (Au, Pb, Zn, W, Ti, charbon, gaz...), mais ancien<sup>2</sup>, dont le potentiel est loin d'être épuisé. Ils font cependant face, d'autre part, à des considérations générales au minimum prudentes, sur le contexte français.

Sur le premier point, les investisseurs se réfèrent à la **richesse des anciennes exploitations minières** en France, qui se situent essentiellement dans les terrains anciens, dont la référence géologique principale est l'Hercynien, concrètement, les Massifs armoricain et central, les terrains anciens des Alpes et les Vosges (voir la figure 2 de l'article de Rémi Galin dans ce numéro). Ils se réfèrent aussi à l'**importance de ces anciennes exploitations**. Paradoxalement, l'absence d'exploitation substantielle durant 3 décennies permet de revisiter des gisements anciens. Grâce au changement, parfois extrêmement important, de la valorisation des métaux sous-jacents, et à l'avènement de technologies d'exploitations nouvelles, ces gisements peuvent redevenir très économiques et être exploités dans des conditions écologiques acceptables dans un pays européen du XXI<sup>e</sup> siècle.

Je voudrais citer ici 3 exemples qui montrent l'ampleur du potentiel français aujourd'hui :

- gisement massif de rutile en Armorique (plusieurs Mt de TiO<sub>2</sub>), avec des teneurs dépassant localement 15% ;
- gisement de tungstène dans les Pyrénées françaises, plus de 100 000 t WO<sub>3</sub> à une teneur de 2 à 5% ;
- gisement Au-Cu en Aquitaine, avec des teneurs de 3-4 g/t Au et 0,75%-1% Cu, et un potentiel Au supérieur à 100 t (4 M oz).

Sur le second point, malheureusement, les investisseurs potentiels expriment des considérations qui témoignent de **perceptions diverses de la réalité** et sont assez négatives. Après avoir entamé des discussions avec la société Variscan, pionnier du renouveau minier en France, il y a maintenant deux ans, j'ai eu la curiosité de contacter plusieurs investisseurs miniers internationaux sur le sujet de la mine en France. Le résultat a été édifiant et en voici quelques extraits :

- 1. une exploitation minière en France, c'est exotique !
- 2. peut-on faire confiance à l'engagement du gouver-

nement français ?

- 3. je ne savais pas qu'il y avait des mines en France ;
- 4. que dire du puissant *lobby* écologique français, qui a réussi à bloquer la fracturation hydraulique ;
- 5. le contexte du *business* en France est inamical ;
- 6. les procédures concernant les permis miniers sont trop longues, trop compliquées et imprévisibles ;
- 7. il n'y a pas d'environnement financier local adapté au secteur minier.

Sur la perception de la mine en général en France, c'est d'abord un questionnement d'incertitude sur la situation actuelle et de non prise en compte du passé qui est exprimé (points 1 et 3), puis un contexte actuel sur lequel on exprime des doutes sur la pertinence de fonctionnement (points 2, 5 et 6). L'interdiction d'une méthodologie d'exploitation moderne, la fracturation hydraulique, pour l'extraction du gaz de schiste (point 4) conduit à s'interroger sur la puissance du lobby écologique français et la rationalité de la politique française en matière de ressources naturelles. Enfin, du point de vue financier, l'absence d'environnement financier local (fonds d'investissement spécialisés, compartiment boursier dédié, équipes compétentes dans les banques locales) est très pénalisante (point 7).

Toutes ces considérations traduisent un contexte difficile pour investir dans le minier, domaine complexe sur lequel on ne vous facilite pas la tâche dans un pays où, déjà, faire des affaires n'est pas simple. Globalement, la position de l'investisseur étranger est pour le moins dubitative face au contexte français. La posture d'une partie de l'administration française en la matière n'est d'ailleurs pas encourageante. Je cite ici un extrait trouvé sur le site du ministère de l'environnement français<sup>3</sup> : « L'exploitation minière a créé des milliers de galeries, puits et forages. **La fin de l'exploitation des sites miniers en France métropolitaine** implique une surveillance particulière de l'environnement : les résidus miniers peuvent générer des pollutions résiduelles dans l'eau, l'air et les sols et les puits et galeries creusés peuvent provoquer des effondrements et des remontées de nappe. La fermeture des mines implique également de garder en mémoire l'historique de ces anciens sites. Cette gestion particulière est appelée « l'après-mine ».

On ne saurait être plus explicite quant à une certaine vision du secteur minier en France...

1. Managing Director VULCAIN SAS.

2. Abandon de la thématique minière métropolitaine il y a plus de 30 ans. Pas demande de permis d'exploration durant 20 ans. Fermeture des dernières mines significatives en métropole il y a 10 ans (charbon de Creutzwald en Moselle et or de Salsigne, toutes les deux en 2004).

3. Source : [www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/1974/1097/risque-minier.html](http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/1974/1097/risque-minier.html)

## Des pistes pour un développement futur de la Mine en France ?

Et pourtant certains souhaitent s'installer malgré les difficultés, comme en témoigne l'exemple de Variscan Mines<sup>4</sup>. J'ai par ailleurs reçu des marques d'intérêt de groupes d'investissement étrangers sur des projets miniers en France (tungstène, titane...), tempérés par des inquiétudes légitimes telles que celles citées ci-dessus, et j'observe de plus en plus de permis d'exploration depuis deux ans. Mais le secteur minier ne saurait se développer à grande échelle sans le support des circuits financiers spécialisés mondiaux, et convaincre ceux-ci demandera un travail conséquent, autant de la part des acteurs privés que des autorités compétentes.

Ce qu'attendent les investisseurs est une réponse appropriée sur les points évoqués ci-dessous :

- des gisements économiques de taille suffisante ;
- un historique minier conséquent ;
- un secteur minier existant et une infrastructure de services ;
- un environnement réglementaire favorable ;
- la perception d'un soutien durable des autorités ;
- une infrastructure financière adaptée.

Pour résumer ces attentes, il convient en premier lieu de s'appuyer sur un passé et un présent minier : le premier existe et le second est un potentiel, à la fois reconnu et en développement. En second lieu, l'amélioration du contexte réglementaire et le soutien durable des autorités constitue une attente forte des investisseurs, qui reste certainement à améliorer pour constituer un pilier d'attractivité, en privilégiant retombées économiques et emploi d'une part, respect de l'environnement de l'autre. Enfin, en 3<sup>ème</sup> lieu, il faut que le contexte financier permette à la fois de disposer d'une infrastructure financière reconnue, y compris à l'échelle locale, ainsi que d'un marché et d'un environnement boursier porteurs.

## Déclinaison des points à améliorer et action des pouvoirs publics

La situation actuelle, qu'il convient d'améliorer, mérite un commentaire plus précis sur plusieurs points. D'abord la **situation du secteur minier** qui montre la coexistence d'entreprises traditionnelles, plus ou moins engagées dans l'ensemble des filières de développement (extraction, transformation...) et d'entreprises nouvellement installées. C'est le cas d'ERAMET (Ni, Mn), d'Areva (U), d'Imerys (minéraux industriels, quelques métaux subordonnés) ou de Garrot-Chaillac (bauxite, fluorine...), pour les premières, de Variscan

Mines, par exemple, pour les secondes. Quel que soit le nombre d'entreprises minières concernées, les investisseurs soulignent une bonne infrastructure, mais une offre de services limitée. Par ailleurs, la France dispose d'une infrastructure de formation de niveau mondial en matière géologique et minière, qui pourrait fournir un soutien de grande qualité à une industrie minière en redéveloppement.

L'**environnement réglementaire** constitue un champ d'actions qu'il convient d'améliorer. On peut citer :

- un Code minier obsolète, en modernisation depuis 2011, mais qui s'appuie toujours actuellement sur la dernière version de l'ancien qui remonte à 1994<sup>5</sup> ;
- une durée d'obtention des permis trop longue : il faut compter 2 ans pour obtenir un permis d'exploration et, pour chaque réalisation de sondage à caractère minier, il faut solliciter le préfet du département impliqué ; **ce point est particulièrement pénalisant et doit être travaillé en urgence** ;
- une réglementation opaque et changeante : en dehors de l'attente du nouveau Code minier évoquée plus haut, on peut aussi invoquer les contraintes environnementales du régime des carrières qui relève maintenant de la loi sur les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)<sup>6</sup> ;

Un autre point de déficit ressenti par les investisseurs est une **perception incertaine sur un soutien durable des Autorités**. Les révisions, en attente indéterminée, du Code minier et du Code du travail, ne sont pas propices pour la mise en place d'un cadre de travail bien établi et durable. On observe aussi plus concrètement l'absence de lisibilité sur le secteur minier en France, comme en témoigne aussi la remise en cause de la Compagnie nationale des Mines de France (CMF), initiée en 2014 et qui a de fortes chances d'être différée, voire abandonnée. Ce n'est d'ailleurs pas elle qui apporterait son appui aux investisseurs étrangers, mais elle interviendrait plutôt pour renforcer une situation ou remédier à une défaillance.

Il semble important que la France, si elle souhaite le développement d'un secteur minier porteur d'emplois et d'investissements, communique sur ce sujet, et « **fasse savoir** », à l'étranger, via les réseaux consulaires et des déclarations publiques, le soutien qu'elle entend apporter au secteur.

Au delà des améliorations réglementaires citées ci-dessus, un geste fort serait la création d'un dispositif fiscal approprié, tel qu'un « **Crédit d'impôt minier** », sur le modèle du Crédit d'impôt recherche (CIR), qui rendrait plus attractif les investissements à long terme que nécessitent la mine.

Sur le plan de l'**infrastructure financière**, de nombreuses améliorations seraient possibles :

- création d'un compartiment spécifique à la bourse de

4. Voir article de Variscan Mines dans ce numéro.

5. Décret du 16 août 1956, modifié par les lois du 2 janvier 1970, 16 juin 1977 et 15 juillet 1994 surtout.

6. Loi du 19 juillet 1976, modifiée à de nombreuses reprises et finalement remplacée par l'Ordonnance 2000-914 du 18 septembre 2000.

Paris (j'ai amorcé des discussions très préliminaires à ce sujet, et ai reçu un excellent accueil) ;

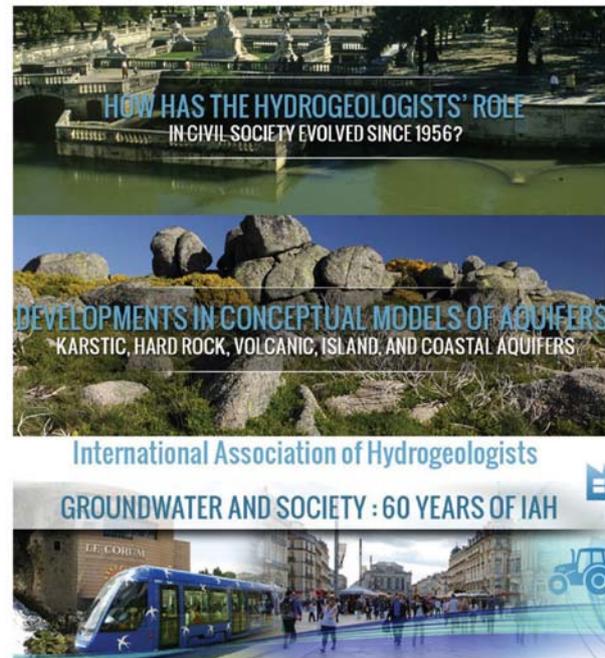
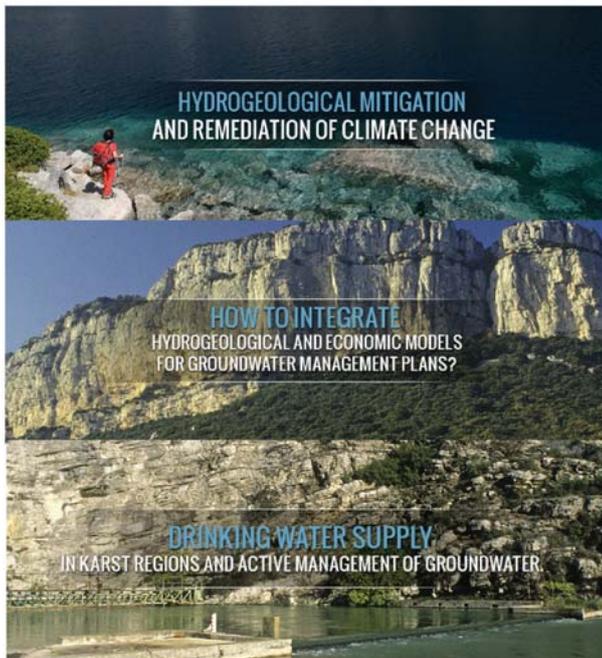
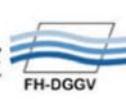
- création d'une structure de fonds d'investissement spécifique, sur une base similaire aux structures existant pour les technologies de pointe, permettant de syndiquer des capitaux privés dans le cadre d'une fiscalité avantageuse ;
- mobilisation de la Banque publique d'investissement (BPI) et de la Caisse des dépôts et consignations (CDC), qui seraient tout à fait dans leur rôle régalién pour soutenir des projets miniers, en particulier s'ils concernent des métaux stratégiques.

## Conclusion

Au final, quelles que soient les incertitudes, on retiendra une vision positive du potentiel minier français, malgré des décennies de relatif sommeil, mais également la nécessité de simplifier le contexte économique, administratif et financier et de le rendre plus opérationnel pour attirer les investisseurs étrangers. Il reste encore du chemin à parcourir pour donner au renouveau minier français une image de stabilité, de rentabilité et de développement durable, mais ce développement est inscrit dans l'ADN de notre pays.



**43rd IAHCONGRESS**  
**25-29<sup>th</sup> September, 2016**  
Le Corum, Montpellier, France



[www.60iah2016.org](http://www.60iah2016.org)

## Les attentes de la société civile : l'exemple de l'association PPERMS autour de la mine de Salau

Jacques Soucasse<sup>1</sup>.

L'association PPERMS (Pour le projet d'étude et de recherche de la mine de Salau) est née de la volonté de quelques citoyens habitant le Haut-Salat de s'opposer, enfin, à tous ceux qui refusent toute initiative de développement industriel de ce territoire ariégeois.

En effet, dès l'annonce par Michel Bonnemaïson, directeur général de Variscan Mines, au maire de Couflens (M Richl) d'une demande de PER sur sa commune pour rechercher du tungstène, ainsi que de l'or et autres métaux associés, ce dernier a fait prendre à son conseil municipal, en janvier 2015, une délibération s'opposant à ce permis de recherche. Sa démarche a, de suite, été relayée par le comité écologique ariégeois. Les arguments avancés par le maire de Couflens, l'association « Couflens, Salau demain » et le comité écologique ariégeois (présence importante d'amiante, mise en danger de la vie des populations, impacts environnementaux irréversibles) ont amené à la constitution de PPERMS dans le but d'informer objectivement la population.

La première action des membres fondateurs de PPERMS a été de connaître le contenu du PER et de divulguer ces informations, auprès des élus locaux d'abord, puis de la population, lors d'une réunion publique le 18 mars 2016 à Saint-Girons : plus de 800 personnes étaient présentes et notre stand (Photos 1 et 2) a été bien visité. La devise de PPERMS étant : **savoir avant de se prononcer pour ou contre l'exploitation**, il est indispensable que le PER soit accordé car comment pourrait-on, sinon, savoir :

- s'il y a un gisement de tungstène économiquement exploitable ;
- s'il y a ou non présence d'amiante dans les galeries de l'ancienne exploitation.

Par la suite, l'association s'est engagée auprès de ses adhérents et a fait savoir au porteur de projet son intention de suivre pas à pas le déroulement du PER. A cet effet, l'association a demandé de faire partie du comité de suivi technique du PER à Mme la préfète de l'Ariège, et ce, dès son obtention. Nous avons bien insisté auprès des porteurs du projet, que **nous ne prendrions une position définitive qu'à l'issue du PER**. Dans le même temps, la possibilité de la future exploitation doit être envisagée en tenant compte d'un développement économique global associant le pastoralisme, l'agropastoralisme, le tourisme.

De nombreux membres de l'association ont encore en mémoire la fermeture, en 1986, de la précédente exploitation minière et les conséquences désastreuses qui s'en suivirent sur la vie de ce territoire.

Ce coin d'Ariège a, aujourd'hui, une possibilité de revivre tant économiquement qu'humainement et, nos populations locales, majoritairement favorables au PER, sauront être très vigilantes tout au long de son suivi. À ce jour, date de parution de l'article, l'association PPERMS compte environ 1 000 adhérents et plus de 2 000 pétitionnaires favorables au projet.

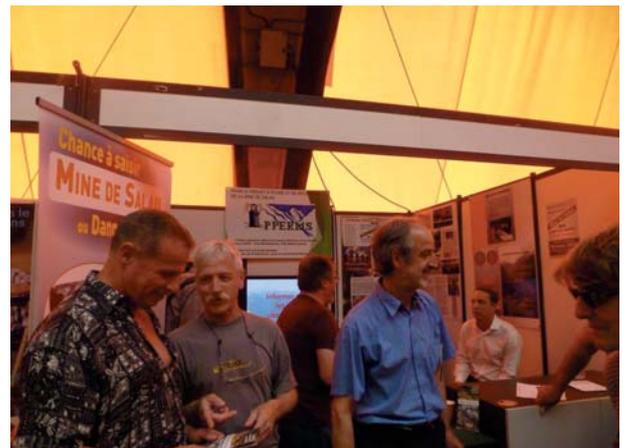


Photo 1. Le stand du PPERMS lors de la Foire de Saint-Girons en mars 2016 (source : <http://perminesalau.jimdo.com>).



Photo 2. Visite du stand du PPERMS par des élus de Midi-Pyrénées (source : <http://perminesalau.jimdo.com>).

1. Vice-Président du PPERMS. Courriel. : [fji.rodriquezog@orange.fr](mailto:fji.rodriquezog@orange.fr)

## Le Centre permanent d'initiatives pour l'environnement (CPIE) Loire - Anjou et son implication dans la concertation sur l'exploration minière

Entretien de la rédaction de "Géologues" avec Olivier Gabory<sup>1</sup>.

### Le CPIE au cœur de son action

Le CPIE a pris sa place dans la promotion des actions de territoire dans le Pays des Mauges, initiées par le Carrefour des Mauges, créé en 1980, et d'abord acteur dans les deux domaines du tourisme et de la culture, auquel l'environnement est venu officiellement se joindre avec le label CPIE obtenu en 1991. En 2007, le Carrefour des Mauges a donné lieu à la création de deux associations : Scènes de pays et CPIE Loire et Mauges, devenu, en 2014, CPIE Loire Anjou. En 2005, les CPIE de la Loire ont souhaité se regrouper en Union régionale, le réseau des CPIE étant coordonné par une Union nationale où se retrouvent 80 CPIE et 14 unions régionales.

L'environnement est un mot-clé dans le titre même du CPIE, même si les actions qu'il mène concernent plus largement une diversité de thèmes : développement durable, énergie-climat, biodiversité, éducation à l'environnement, eau et jardins et même une rubrique Mines d'or dans les Mauges dans laquelle on retrouve Variscan Mines. Le CPIE ne constitue pas toutefois une association de défense de l'environnement, pas plus que de promotion d'un projet, mais beaucoup plus un promoteur du dialogue environnemental auquel il est soucieux de faire participer tous les acteurs concernés, en particulier les diverses catégories d'habitants et les élus. Ce dialogue est la clef de voûte de la participation des acteurs et il importe de laisser les différents points de vue s'exprimer, dans un souci d'échanges ouverts, permettant aussi bien l'approbation que les réserves vis-à-vis d'un projet.

Le CPIE en aucun cas ne se substitue aux habitants ou aux élus, mais il favorise à la fois la connaissance des sujets concernés (pédagogie de base), et l'émergence des opinions, des avis, des prises de position dans la meilleure situation de connaissance possible. C'est ainsi que le CPIE a été un acteur majeur dans l'organisation et la tenue de réunions de concertation de Variscan Mines à propos de leur permis de Saint-Pierre autour de Saint-Pierre Montlimart (49) et de l'ancienne mine de la Bellière, dans le pays des Mauges et c'est ce point que nous allons aborder maintenant.

### Le choix de la concertation initiale avant l'attribution du permis

Ce choix n'était pas évident, car il s'avère que dans d'autres régions, ce partage précoce de points de vue a été l'occasion d'enraciner des refus et des contestations sur lesquelles il était ensuite très difficile de revenir. Pour autant, ne pas échanger autour d'un projet, alors que des rumeurs de permis circulent, n'est pas non plus la bonne solution. **Trois rencontres** ont été organisées avant l'attribution du permis le 4 février 2014, soit en **avril, juin et septembre 2013**. Dans les trois cas, le CPIE a été au cœur de l'organisation préalable et de l'animation de la réunion.

La rencontre d'avril s'est faite principalement avec les élus du Syndicat mixte du Pays des Mauges (devenu Mauges Communauté depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2016). Ce n'était donc pas une rencontre ouverte à tous les habitants, mais un premier test avec les élus. Ils sont en effet nombreux, car le Syndicat mixte regroupait 71 communes (7 communautés de communes), alors que Mauges communauté rassemble 6 communes nouvelles regroupant 64 communes déléguées, dont 33 se trouvent sur le territoire du permis<sup>2</sup> qui sera accordé à Variscan Mines. Cette première réunion a été centrée sur les questions des uns et des autres, notamment celles du Syndicat mixte. Le résultat peut être considéré comme positif car cette première réunion a été centrée sur des questions d'information sur le projet et pas sur des contestations de principe. Elle a permis d'avoir une idée de la « température » des débats.

Le centrage sur la vision des 33 communes et les 4 communautés de communes directement concernées par le futur permis (Fig. 1) a été réalisé lors de la réunion de juin 2013, tandis que celle de septembre, actée par les élus et qui s'est tenue à Saint-Pierre-Montlimart, était une réunion publique ouverte à tous les habitants. Ces deux réunions ont été centrées, d'une part sur l'histoire du secteur minier et, d'autre part, sur les travaux qui étaient envisagés par Variscan Mines. Sur le premier point, il est clair que le site de la Bellière a constitué un site d'extraction significatif, connu depuis la période gallo-romaine<sup>3</sup> et qui, de 1905 à 1952 a produit plus de 10 tonnes d'or et de 1 tonne d'argent. En outre, lors de cette première présentation des travaux qu'elle envisageait, Variscan Mines s'est appuyée sur une

1. Directeur du Centre permanent d'initiatives pour l'environnement (CPIE) Loire Anjou, Maison de Pays, BP 50048, 49602 Beaupréau Cédex. Tél. : 02 41 71 77 30. Courriel : [contact@cpieloireanjou.fr](mailto:contact@cpieloireanjou.fr)

2. Permis exclusif de recherche de mines (PERM).

3. Le nom de « Pays des Mauges » (in pago Medaligo en 845, puis in pago metallico, en 1050) proviendrait directement de ses ressources métallifères.



Figure 1. Carte générale du secteur concerné (communes et communautés de communes) par le permis minier de Variscan et localisation de la mine de La Bellière (source : Variscan Mines).

Légende - Communes déléguées regroupées dans 5 Communes nouvelles :

\* Commune nouvelle de **Montrevault-sur-Èvre** (en vert) - regroupe : Le Puiset-Doré, La Chaussaire, Le Fief-Sauvin, Montrevault, Saint-Rémy-en-Mauges, Le Fuilet, La Boissière-sur-Èvre, Saint-Pierre-Montlimart, La Salle-et-Chapelle-Aubry, Chaudron-en-Mauges, Saint-Quentin-en-Mauges.

\* Commune nouvelle de **Beaupréau-en-Mauges** (en marron) - regroupe : Gesté, Beaupréau, Jallais, La Poitevineière, Le Pin-en-Mauges.

\* Commune nouvelle de **l'Orée d'Anjou** (en jaune) - regroupe : Drain, Saint-Laurent-des-Autels, Saint-Christophe-la-Couperie, Liré, Bouzillé.

\* Commune nouvelle de **Mauges-sur-Loire** (en bleu ciel) - regroupe : La Chapelle-Saint-Florent, Saint-Florent-le-Vieil, Botz-en-Mauges, Beausse, La Pommeraye, Bourgneuf-en-Mauges, Saint-Laurent-de-la-Plaine.

\* Commune nouvelle de **Chemillé-en-Anjou** (en violet) - regroupe : La Chapelle-Rousselin, Chemillé, Saint-Lézin, Neuvy-en-Mauges, Sainte-Christine.

pédagogie et des notions de base accessibles à tous, en répondant de façon simple à toutes les questions soulevées.

Lors de ces deux réunions, le CPIE s'est efforcé de permettre à chacun de prendre la parole et de s'exprimer simplement. Une seule contestation forte s'est exprimée lors de la réunion de septembre venant d'un représentant d'une ONG d'opposition, localisée en dehors des Mauges et tout simplement hostile à tout projet minier. Dans l'ensemble, les interventions des habitants ont révélé un souhait général de pragmatisme et de transparence, pas d'hostilité au projet.

Deux craintes générales se sont toutefois exprimées, d'une part l'après-mine des anciennes exploitations de la région, notamment de charbon, et les doutes quant à la stabilité des anciens travaux en raison d'accidents qui ont déjà eu lieu, d'autre part, des inquiétudes sur le gaz de schiste potentiel alors qu'il est interdit de prospection. La réponse de Variscan Mines a permis de souligner toute l'attention qu'elle portait à l'identification précise de tous les secteurs à risque minier (anciens travaux, déchets polluants, etc.) et, en ce qui concerne le gaz de schiste, que les terrains anciens du Massif armoricain ne constituait par un objectif, ce qui n'était pas le cas dans les

bassins sédimentaires comme dans le bassin de Paris ou en Aquitaine.

Au final, l'attitude du public a été celle de la vigilance, mais aussi du bon sens, soit un accord général pour explorer, tout en restant vigilant sur ce qui allait être fait et les conséquences potentielles.

## La concertation une fois le permis attribué

Lorsque le permis a été accordé le 4 février 2014, curieusement les médias ont été prévenus en premier, avant Variscan Mines, et le soir même la télévision et la radio étaient présentes. La première réunion s'est ensuite tenue le **11 mars 2014** avec les maires, la seconde le **14 mai 2014** avec les maires et les responsables agricoles. Ces deux réunions ont été suivies de deux autres (**18 et 24 juin 2014**) avec les agriculteurs et la Chambre d'agriculture en raison des travaux de géochimie prévus sur les sols des territoires concernés.

Il s'agissait d'expliquer les sondages à la tarière (nombre, localisation, profondeur – entre 0,3 et 1 m environ) et aussi la marge de manœuvre au cas où des acteurs agricoles feraient état de difficultés pour réaliser les sondages à la tarière dans certains secteurs. Un des mots clefs était donc la concertation avec tous, le choix d'expliquer ce qu'on faisait et non pas l'application d'un standard de prospection non modifiable, voire un passage en force. Ces considérations incluaient les précautions à prendre en terrains viticoles et arboricoles dans lesquels les intrants utilisés risquaient de perturber les résultats. D'où le choix de sondages tarière plus profonds dans ces secteurs.

Une fois encore, cette attitude pragmatique et concertée a été bien perçue par la population. Cette vision peut s'exprimer ainsi : dire ce qu'on fait et faire ce qu'on dit. Par ailleurs, à terme, il est bien prévu que les résultats des analyses de sols, issus de la prospection géochimique, seront consultables par chacun.

La **2<sup>ème</sup> réunion publique** a eu lieu le **5 février 2015** à Chaudron-en-Mauges et elle s'est focalisée d'abord sur les anciens plans de mine en 3D apportés par Variscan Mines et établis en tenant compte des imprécisions relatives dues au moment où les plans initiaux avaient été établis. Ces plans ont permis aux participants de mieux visualiser l'ensemble du réseau souterrain et, par là-même, les

secteurs à risque et les précautions à prendre pour éviter les accidents, tout en soulignant que la prévention ne pouvait être sûre à 100%.

Cette réunion a aussi permis de décrire plus finement la prospection à mettre en place, d'abord pour la géochimie, en insistant sur la localisation des zones estimées à fort potentiel, sur lesquelles il convenait de resserrer la maille d'échantillonnage. En fonction des résultats, l'étape suivante est constituée par la géophysique aérienne (héliportée) ou au sol. Viennent ensuite les sondages, destructifs ou carottés, dont l'autorisation nécessite des démarches administratives spécifiques. Au final, cette réunion a permis d'avancer sur deux points majeurs, la connaissance bien localisée du passé minier et des risques qu'il pouvait présenter et une vision d'ensemble des travaux de prospection à réaliser dès que possible.

Et c'est précisément sur ce point que la **réunion suivante du 18 février 2016** a été organisée, car les élus, notamment, s'inquiétaient de voir que les travaux de prospection prévus n'avançaient pas et s'interrogeaient sur ce qu'ils devaient dire aux habitants. Les explications de Variscan ont alors porté sur les questions financières et la nécessité de mobiliser des sommes plus importantes dès qu'il s'agit de s'engager dans des travaux de prospection plus lourds. D'où une concertation nécessaire avec les financeurs potentiels, en l'occurrence étrangers, alertés, par

ailleurs, sur les contraintes administratives du développement minier en France. Dans le cadre de cette réunion, le CPIE a notamment aidé Variscan Mines à établir des fiches synthétiques d'explication sur les travaux réalisés et les étapes suivantes, notamment pour qu'elles soient rédigées en français et non en anglais.

### Conclusion

Au total, il y a eu à ce jour 2 réunions publiques, 5 réunions avec les élus et 2 réunions avec les acteurs agricoles. Dans tous les cas, le CPIE a été en première ligne de l'organisation et de l'animation de ces réunions, avec le souci premier que les participants s'informent et s'expriment, sans jamais se placer dans un rôle de promoteur ou de défenseur de projet. Il faut dire que cette concertation a bénéficié d'un contexte favorable lié au souci des élus et des habitants d'être bien informés sur le passé et le futur minier du territoire, dans un cadre de discussion ouvert et transparent.

Variscan Mines s'est étroitement associée à cette démarche, ce qui a conduit à une concertation initiale avant l'attribution du permis et à un souci d'information tant technique, qu'administrative et financière une fois le permis attribué. Mais ce seront les sondages, encadrés par des procédures administratives spécifiques, qui permettront *in fine* de mieux cerner le potentiel minier du territoire.

### 43<sup>ème</sup> Congrès international « Les eaux souterraines et la société : 60 ans de l'Association Internationale des Hydrogéologues »

Le Comité Français d'Hydrogéologie (CFH), section française de l'Association Internationale des Hydrogéologues (AIH), a été chargé d'organiser le 43<sup>ème</sup> congrès international de l'AIH, après ceux de Marrakech (2014) et de Rome (2015). Cette manifestation qui se déroulera à Montpellier du 25 au 29 septembre 2016, sera l'occasion de célébrer le 60<sup>ème</sup> anniversaire de la création de l'AIH, à l'initiative d'hydrogéologues français. Montpellier a été choisi pour accueillir ce congrès, parce que l'université, les centres de recherches associés, le BRGM et différentes entreprises ont joué et jouent un rôle prépondérant dans l'enseignement, la formation et la recherche dans le domaine des eaux souterraines, en partenariat avec la Ville et la Région. La création du Pôle Eau, à vocation internationale, élargit cette perspective à tous les domaines de l'eau.

Les 850 résumés soumis, représentant 76 pays, sont répartis selon 8 grands thèmes : la place de l'hydrogéologue dans la société ; les hydrogéologues et le développement économique ; les hydrogéologues pour le futur : éducation et formation ; l'économie, les eaux souterraines et leur gestion ; eaux souterraines, changement global et changement climatique ; la gestion active des eaux souterraines dans le cycle de l'eau ; usage des eaux souterraines et gestion des conflits d'usage ; progrès dans les modèles conceptuels, les outils et les méthodes.

**Le site web <http://www.6oiah2016.org/en/> fournit plus d'informations et permet un enregistrement en ligne des participants.**

# Panorama des gisements et du potentiel français

Éric Marcoux<sup>1</sup>.

Le souvenir de la mine s’effaçant progressivement de la mémoire collective, une forte majorité du grand public a oublié que la France fut un grand pays minier ! Un des tout premiers pays au monde à créer en 1783 à Paris une École Nationale des Mines pour former les cadres indispensables à la bonne marche de ce fleuron national, source de richesses et de prospérité, qu’étaient les mines, et un *leader* mondial en son temps pour l’antimoine, le germanium et même le fer et la potasse.

Encore nombreuses en métropole jusqu’aux années 1990, les mines fermèrent dès lors l’une après l’autre : l’histoire du fer lorrain s’achève à Audun-le-Tiche (57) en 1997 après plus de 150 ans d’extraction, celles du zinc et du germanium à Saint-Salvy (81) en 1993, celle de l’uranium au Bernardan (87) en 2001, et celle de l’or à Salsigne (11) en 2004. En 2016, la production minière métropolitaine de métaux est nulle si l’on excepte environ 60 t à Sn, Nb, Ta récupérées en sous-produit du kaolin à Échassières (03). La fermeture de ces mines fut la conséquence de nom-

breux facteurs interagissant entre eux qu’il n’est pas question de traiter ici. Peu de mines fermèrent de cause « naturelle », à savoir l’épuisement de la ressource : les raisons économiques furent plus fortes et plus nombreuses. Néanmoins, l’activité minière des DOM/TOM contraste fortement avec celle de la métropole, avec des mines actives d’or en Guyane et surtout de nickel en Nouvelle-Calédonie qui vaut à la France d’être toujours le 5<sup>ème</sup> producteur mondial de ce métal en 2015.

Cet article se propose de dresser les grandes lignes de ce passé minier, et de poser la question : un renouveau est-il possible ? Il met davantage l’accent sur les « vraies » mines, au sens juridique du terme, incluant minerais de métaux, substances énergétiques et quelques minéraux industriels, mais aborde également quelques-unes des principales ressources minérales de carrière.

Parmi les documents consultés mentionnés en référence, le lecteur trouvera notamment dans Béziat et Bornuat (1995), un panorama synthétique et complet dressé au crépuscule de la mine métropolitaine du XX<sup>e</sup> siècle. Par ailleurs, nous ferons référence dans le texte qui suit soit à la carte (Fig. 1) soit au tableau 1.

## Substances énergétiques

Le charbon fut par le passé une importante ressource nationale grâce à des mines majeures dans le Nord – Pas-de-Calais (2,4 Gt produites), la Lorraine (800 Mt), et le Massif central-Provence avec les bassins du Centre et du Midi (1,4 Gt). La production totale entre 1714, année de découverte du bassin du Nord, et 2004, année de la fermeture du dernier puits en Moselle, se monte à environ 4, 750 Gt, soit 8 mois de la production mondiale actuelle ! Le **lignite** fut exploité entre 1714 et 1993 à Arjuzanx (40) et en Provence à Gardanne (13), pour une production totale d’environ 160 Mt. Le **gaz** est l’énergie du Sud avec le grand gisement de Lacq (64) (301 Gm<sup>3</sup>), exploité depuis 1957 et bientôt épuisé, et son voisin de Meillon, près de Pau. Le **pétrole** national ne subvient qu’à 1 % de notre consommation

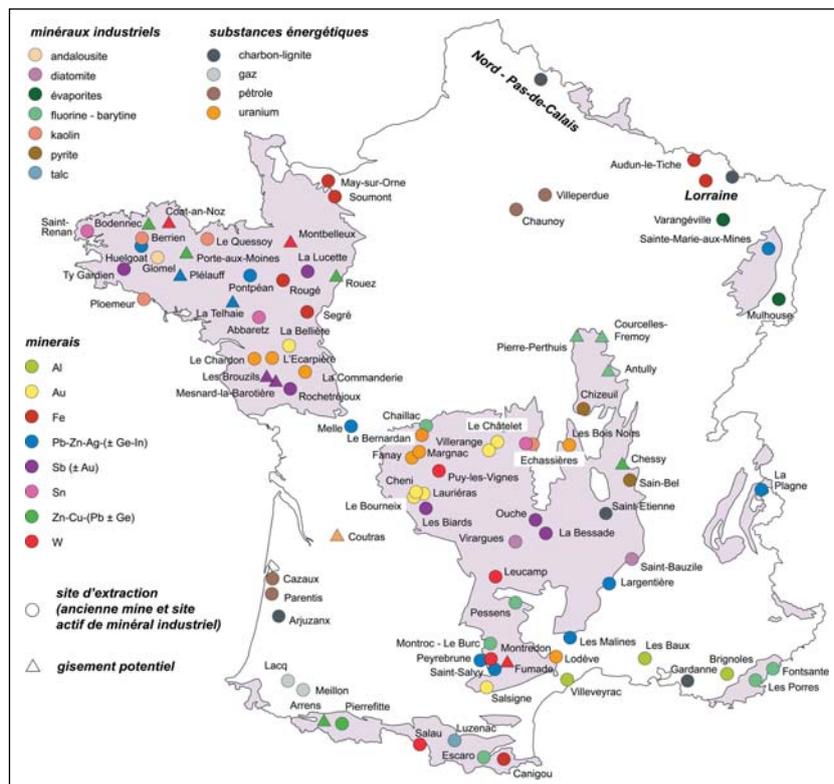


Figure 1. Carte des principales mines et gisements potentiels de métropole. Seuls les plus importants ont été figurés.

1. Professeur à l’Université d’Orléans email : eric.marcoux@univ-orleans.fr

	Production	Potentialités	Sites potentiels
<b>Substances énergétiques</b>			
Charbon	4 750 Mt	Faibles	-
Gaz	301 Gm <sup>3</sup>	Très faibles	-
Lignite	167 Mt	Très faibles	-
Pétrole	90 Mt	Très faibles	-
Uranium	80,80 kt	Très faibles (25 kt U)	Coutras
<b>Minerais</b>			
Aluminium	101 Mt (bauxite)	Faibles à très faibles	Provence, Hérault
Antimoine	130 kt	Fortes	Les Brouzils (> 10 kt), Mesnard-la-Barotière
Argent	5 017 t	Moyennes	Rouez, Bodennec, Porte-aux-Moines, Chizeuil, Chessy-les-Mines, bordure cévenole
Arsenic	365 kt	Faibles	sous-produit de mines d'or
Cadmium	2 869 t	Moyennes	Plélauff, La Telhaie, Arrens, Saint-Salvy
Chromite (Nouvelle-Calédonie)	3,86 Mt	Faibles à très faibles	Nouvelle-Calédonie
Cobalt (Nouvelle-Calédonie)	126,65 kt	Très fortes (> 200 kt Co)	Goro, Koniambo, etc. (*)
Cuivre	71 kt	Moyennes	Rouez, Bodennec, Porte-aux-Moines, Chizeuil, Chessy-les-Mines
Étain	11 800 t	Moyennes (> 9 000 t de cassitérite)	Abbaretz, Échassières
Fer	3 500 Mt (minerai)	Très faibles	Lorraine (6 Gt), Bretagne et Anjou (1 Gt)
Germanium	400 t	Moyennes	Plélauff, La Telhaie, Arrens, Saint-Salvy
Lithium	néant	Très fortes (> 100 kt Li <sub>2</sub> O)	Échassières
Nickel (Nouvelle-Calédonie)	6,084 Mt	Très fortes (> 8,4 Mt Ni)	Goro, Koniambo, etc. (*)
Niobium-tantale	très faible	Moyennes	Guyane (crique Vénus)
Or (métropole)	194 t	Fortes	Limousin, La Bellière, Rouez...
Or (Guyane, production officielle)	235 t	Fortes	Loulouie, Adieu Vat, Saint-Pierre...
Plomb	1,8 Mt	Moyennes	Rouez, Bodennec, Porte-aux-Moines, Chizeuil, Chessy-les-Mines, bordure cévenole
Tungstène	26,6 kt	Très fortes (> 75 kt WO <sub>3</sub> )	Salau (> 35 kt), Fumade (> 26 kt), Coat-an-Noz (14 Kt), Montbelleux, Leucamp-Engualès, Montredon
Zinc	2,35 Mt	Moyennes	Rouez, Bodennec, Porte-aux-Moines, Chizeuil, Chessy-les-Mines, bordure cévenole
<b>Minéraux industriels</b>			
Andalousite	1,95 Mt	Très fortes (> 1,6 Mt)	Glomel (*)
Barytine	6,81 Mt	Moyennes	-
Fluorine	11,1 Mt	Fortes (> 6 Mt)	Pierre-Perthuis (2,25 Mt), Courcelles-Fré moy (1 Mt), Antully (1,4 Mt)
Potasse	141 Mt (K <sub>2</sub> O)	Inconnues	-
Pyrite	29,5 Mt	Faibles	-
Soufre	51 Mt	Très faibles	-
Talc	15 Mt	Très fortes (> 20 Mt)	Luzenac (*)

Tableau 1. Productions nationales en ressources minérales et principales potentialités. Excepté pour le nickel, le cobalt l'andalousite et le talc, et ponctuellement pour le tungstène et la fluorine, les chiffres de tonnages des potentialités sont des estimations anciennes (1995) qui seraient à revoir. Compte tenu de l'évolution des paramètres économiques depuis 20 ans, les chiffres de 1995 ne peuvent être considérés que comme des ressources. L'estimation (forte, moyenne...) ne prend en compte que le facteur géologique.

Légende. (\*) sites déjà en exploitation dotés de fortes réserves.

grâce aux petits gisements du Bassin parisien (Villeperdue - 37, Chaunoy-en-Brie - 77...) et du Bassin aquitain (Parentis - 40 et Cazaux - 33). La production est en baisse constante (3 Mt en 1965, 2,55 Mt en 1994, 0,79 Mt en 2013), et se monte à environ 90 Mt au total.

La production nationale d'**uranium** a accompagné

l'essor de l'énergie nucléaire, voulu par le Général de Gaulle après la seconde guerre mondiale, pour assurer l'indépendance énergétique de la France. Entre 1946 et 2001, date de la fermeture de la mine du Bernardan, la France aura produit 80 800 t d'uranium métal, occupant le 5<sup>ème</sup> rang mondial en 1992 avec 2 119 tonnes produites. Le dis-

trict du Limousin fut le plus important avec une production cumulée de 24 890 t, grâce aux grandes mines de Margnac-La Crouzille (63) (4 300 t), Fanay-Augères (87) (3 239 t) et Jouac-Le Bernardan (87) (6 000 t) qui exploitaient des filons quartzeux à pechblende et des épisyénites d'âge permien. Les grès rouges permien du district de Lodève (34) produisirent environ 14 773 t d'uranium, et la Vendée (44), environ 13 820 t, avec surtout ses trois grandes mines de l'Écarpière (44), Le Chardon (44) et La Commanderie (79). D'autres petits gisements ont été exploités dans le Forez, aux Bois-Noirs (42) (5 300 t), en Margeride et dans le Cantal.

## Minerais des métaux

### Or et argent

L'or a été extrait dès l'Antiquité en Gaule, la *Gallia aurifera*, considérée à juste titre par les Romains du 1<sup>er</sup> siècle avant notre ère comme une province aurifère riche, une des raisons de son annexion par César. Les historiens estiment la production d'or en Gaule aux alentours de 550 tonnes entre -1 200 et l'an 500, à comparer aux 194 tonnes d'or produites en France métropolitaine lors de la période moderne (1900-2003).

La production moderne de la métropole est écrasée par le grand gisement de Salsigne (11) (Photo 1), et ses 110 tonnes produites de 1912 à 2003 (Lescuyer *et al.*, 1993). Les autres mines arrivent loin derrière avec des productions individuelles qui peinent à atteindre 10 tonnes : Laurières (87) (9,4 t), Le Bourneix – Cros Gallet (87) (8,6 t) et Cheni-Douillac (87) (7,5 t) en Limousin, Le Châtelet (23) (10,97 t) dans la Marche, La Bellière (49) (11,7 t) et La Lucette (53) (8,7 t, surtout une mine d'antimoine) dans l'Est armoricain. En Limousin, il s'agit majoritairement de failles cisailantes profondes ductiles-cassantes, les *shear-zones* des Anglo-Saxons qui appartiennent à l'épisode « or 300 » (Bouchot *et al.*, 1997, 2005). Le petit gisement de Rouez (72) (1989-1992) a extrait 2,7 t d'or et 7,2 t d'argent du chapeau de fer de l'amas sulfuré sous-jacent.

À cette production, il convient d'ajouter celle de la Guyane (environ 175 t d'or entre 1855 et 1994), extraites pour l'essentiel de placers (160 t contre environ 15 t pour les gisements primaires ; Milési *et al.*, 1995). Depuis cette date, la production officielle est d'environ 3 t/an mais une autre, non officielle, atteindrait 10 t/an ! Ce qui porterait le total guyanais à environ 235 tonnes « officielles », et 435 tonnes en comptant les estimations de la production non officielle.

Aucune mine d'argent au sens propre n'a existé en France. Les 5 017 t produites de 1800 à 2003 le furent comme sous-produits de mines d'or (256 t à Salsigne) (11)



Photo 1. La mine de Salsigne – Aude (source E. Marcoux).

et surtout de plomb et zinc : 750 t à Largentière (07), 192 t à Saint-Salvy (81), 230 t aux Malines (30), 230 t à Pontpéan (29), 360 t à La Plagne. Les célèbres mines d'argent de Sainte-Marie-aux-Mines (68) furent d'abord des mines de plomb, avec une production notable d'argent (240 t).

### Tungstène et étain

Les minéralisations à étain-tungstène (avec Nb-Ta, Li et Be en teneurs parfois économiques) sont associées à des granites très différenciés issus d'une fusion crustale, majoritairement des leucogranites datés de l'Herzynien tardif (315-302 Ma). Elles se mettent en place par l'intermédiaire de systèmes hydrothermaux d'ampleur kilométrique, souvent à l'apex de coupes leucogranitiques, sous forme de filons, de stockwerks, de skarns en contexte carbonaté, plus rarement de *pipes* (Puy-les-Vignes -87).

La France se remarque par l'importance de ses gisements de tungstène. Le skarn de Salau (Ariège - 09) fut ainsi une mine majeure avec 13 950 t WO<sub>3</sub> produites de 1970 à 1986, à une teneur moyenne de 1,5 % WO<sub>3</sub>. Les gisements filoniens furent aussi nombreux avec le district de Leucamp-Engualès (15) (2 175 t WO<sub>3</sub>), de Montredon-Labessonnié (81) (860 t), et le pipe hydrothermal de Puy-les-Vignes (87) (3 170 t).

La France est moins riche en étain avec seulement deux gisements notables. Saint-Renan (29) est un placer quaternaire exploité de 1960 à 1975 et qui produisit 5 500 t de cassitérite, sans compter une production antique estimée à 2 000 t. Abbaretz (44) exploita un lacis de filons quartzeux à l'apex d'un leucogranite, de 1951 à 1957, pour une production de 3 743 t de cassitérite (soit 2 520 t d'étain). Rappelons qu'environ 55 tonnes de cassitérite (plus 5 tonnes de columbo-tantalite) sont récupérées annuellement par Imerys comme sous-produit de l'extraction du kaolin à Échassières (03).

### Antimoine (et or)

L'antimoine est le métal qui a donné sa place de leader mondial à la mine française au début du XX<sup>e</sup> siècle, grâce pour l'essentiel au « monstre » de La Lucette et à ses 42 000 t d'antimoine, un des plus importants filons de stibine au monde.

La France compte ainsi 3 districts majeurs : La Lucette (53), avec son unique faisceau filonien, la Vendée (18 000 t Sb avec le grand filon de Rochetréjoux (85) et ses 16 400 t ; Marcoux *et al.*, 1984), et celui de Brioude-Massiac (15-43) en Auvergne (environ 40 000 t Sb), qui compte de nombreux filons exploités dans une vingtaine de mines, dont deux seulement produisirent plus de 5 000 t (Ouche - 15 et La Bessade - 43) (Périchaud, 1980). D'autres gisements moins importants existent en Lozère, dans le Cap corse (11 800 t), en Limousin et en Armorique. Une exploitation moderne eut lieu sur la partie superficielle du filon des Brouzils (85) de 1989 à 1992 (895 t d'antimoine) et de Ty Gardien (29) (567 t), mais les productions s'arrêtèrent, suite à l'effondrement du cours de ce métal.

### Plomb, zinc, argent et « petits métaux »

Ces métaux furent exploités depuis l'Antiquité pour le plomb et l'argent avec des sites historiques comme Melle (79), mine d'argent des rois Francs entre les VI<sup>e</sup> et X<sup>e</sup> siècles, puis aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, dans les Vosges, en Auvergne et Bretagne. Le plus important gisement fut Pontpéan (35) qui produisit 180 kt de plomb (et 20 kt de zinc), devant les mines de Huelgoat-Poullaouen (29) avec 65 kt de plomb et 160 t d'argent. Au XX<sup>e</sup> siècle, les grès triasiques du grand gisement stratiforme de Largentière (07) (1964-1982) produisirent 360 kt de plomb, 68 kt de zinc et 750 t d'argent. L'essor de la métallurgie du zinc permit l'ouverture des grandes mines de ce métal : filons de Saint-Salvy (81) (Photo 2) et de Peyrebrune (81), stratiforme des Malines (30), Pierrefitte (65), etc., avec de nombreux sous-produits : plomb, argent, mais aussi cadmium et germanium. La mine de Saint-Salvy (81) (1973-1992) produisit 301 kt de Zn, 3,2 kt de Pb, 1 600 t de Cd, 192 t d'Ag et 410 t de Ge, hissant Saint-Salvy (81) au rang de premier producteur mondial de germanium dans les années 1980 (Cassard *et al.*, 1994). La mine des Malines (30) (1875-1991) ouverte dans les formations cambriennes (karstiques), triasiques et bathoniennes produisit 1 Mt de tonnes de métaux (environ 860 kt de zinc et 140 kt de plomb) et 230 t d'argent.

La France n'a jamais été un producteur notable de **cuivre**, même si les Romains extrayaient déjà ce métal par grillage du minerai pyriteux à Sain-Bel (69). Le cuivre fut un sous-produit d'autres exploitations, notamment à

Salsigne (11) (30 kt), et plus curieusement de la fluorine au Burc (81) dans les années 1990 !

### Fer

On le sait peu mais, dans les années 1950 et 1960, la France fut le troisième producteur mondial de minerai de fer et joua un rôle clé dans l'approvisionnement des aciéries de France et d'Europe avant l'arrivée des gigantesques producteurs australiens et brésiliens. Elle produira 3,5 milliards de tonnes de minerai de fer, essentiellement grâce au gisement de fer oolithique de classe mondiale de Lorraine, riche de 3,1 Gt de minerai, dans un bassin de 100 km sur 30, qui se prolonge au Luxembourg. Les mines y furent nombreuses jusqu'à la fermeture de la dernière en 1997 à Audin-le-Tiche (57). Le bassin employait 31 000 mineurs en 1952, d'où le désastre économique et social qui accompagna la fermeture de ces mines.

Les autres mines de fer nationales furent beaucoup plus modestes, les plus « importantes » étant celles du Massif armoricain, en Normandie avec Soumont-Saint-Quentin (14) (32 Mt de minerai), May-sur-Orne (14) (23 Mt),



Photo 2. Le minerai de Saint-Salvy – Lot et Garonne (source : E. Marcoux).

et en Anjou (Segré - 49), creusées dans des couches de minerai de fer oolithique de l'Ordovicien, suivies par celles des Pyrénées, dans le district du Canigou. La dernière mine de fer française, bien modeste, a fermé à Rougé (44) en 2003.

## Aluminium

Rappelons que le terme bauxite vient du village des Baux-de-Provence (13), près d'Arles, où ce minerai d'aluminium fut défini et exploité dès 1885. Les gisements de bauxite se sont formés au Cénomanien (95 Ma) lors de l'épisode tropical humide qui a provoqué une latéritisation généralisée en Europe de l'Ouest. Environ 101 Mt de ces bauxites résédimentées, dites karstiques, furent exploitées en Provence (district de Brignoles - 83 ; 40 Mt) et dans l'Hérault (district de Villeveyrac - 34 ; 43 Mt) entre 1885 et 1991, alimentant les usines d'aluminium de la société Péchiney.

## Nickel, cobalt et chrome

Absents de la métropole, ce sont les trois métaux néocalédoniens. Le nickel représente 95 % de l'économie de la Nouvelle-Calédonie avec environ 185 kt Ni en 2015 (chiffres USGS), une production assurée pour l'essentiel par trois compagnies minières majeures : Société Le Nickel (SLN, filiale d'Eramet avec 50 à 60 kt), Vale VNC, et Koniambo-Glencore. Le nickel est extrait de minerais latéritiques depuis 1875 dans plusieurs dizaines de mines, dont certaines très actives (Goro, Koniambo...) mais confrontées à de graves problèmes de cours du nickel. La production totale 1875-2015 se monte à 6,084 Mt Ni.

Le cobalt est un sous-produit de l'exploitation du nickel, qui voit sa production augmenter fortement depuis quelques années (4 040 t en 2014 contre 1 000 t en 2010), hissant la France au rang de 8<sup>ème</sup> rang producteur mondial. Depuis 1875, la Nouvelle-Calédonie a produit environ 126 650 t de ce métal. Le chrome n'a jamais fait l'objet d'exploitations importantes, sauf à Tiébaghi. La production (1875-1993), aujourd'hui arrêtée, s'est élevée à 3,86 Mt à 51 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## Minéraux industriels

### Fluorine et barytine

Plusieurs gisements de taille internationale de ces minéraux industriels ont été exploités en France. Chaillac (36), avec 2,6 Mt de barytine exploitée de 1970 à 2006, est le second gisement européen. C'est un gisement stratiforme porté en partie par les grès hettangiens

nappés d'un sinter<sup>2</sup> puissant (jusqu'à 8 m) à haute teneur, le « ferrobarytique ». Pessens (12), avec 1,5 Mt, fut aussi un gisement stratiforme notable de barytine, et Les Porres (Var), un important filon (0,65 Mt).

Mais c'est la fluorine qui constitue des districts majeurs avec les grandes mines de Fontfente dans le Var (2 Mt), d'Escaro (66) dans les Pyrénées (2,06 Mt), de Montroc et du Burc (81) (3,2 Mt), et de Langeac (43) (1,4 Mt) (Photo 3), exploités pour l'essentiel entre les années 1950 et 1995.

### Évaporites

La France fut et reste encore un grand producteur de minéraux d'évaporites. Le gisement majeur reste celui des « Potasses d'Alsace » près de Mulhouse, formé à l'Éocène-Oligocène. Ouverte en 1910, la mine ferma en 2002 après l'extraction de 567 Mt de minerai, titrant 25 % de KCl et 60 % de NaCl (soit environ 89 Mt K<sub>2</sub>O). La France était le 6<sup>ème</sup> producteur mondial de potasse en 1994.

La production française de sel, proche de 6 Mt par an, est en grande partie due aux marais salants de Méditerranée. Mais le sel gemme est toujours extrait, en 2016, de la mine souterraine de Varangéville (54) près de Nancy par Les Salins du Midi, à raison de 1,2 Mt par an (le sel, à la fois minerai et minéral industriel étant une substance concessible).

### Pyrite et soufre

Délaissée aujourd'hui, la pyrite fut le producteur mondial de soufre dès le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, avant d'être détrônée par le soufre des dômes de sels vers 1950, puis, à l'heure actuelle par la désulfuration des hydrocarbures. Des amas sulfurés pyriteux furent alors exploités, pour la production d'acide sulfurique, sur la bordure orientale du Massif central, à Sain-Bel (69) (21 Mt et 500 t de cuivre) et Chizeuil (71) (10 Mt de pyrite avec une production accessoire de cuivre). Le gaz de Lacq (64) avec 15 % de H<sub>2</sub>S a été le grand fournisseur de soufre de l'industrie française depuis 1957. Il assurait à la France le 5<sup>ème</sup> ou 6<sup>ème</sup> rang mondial pour cette substance entre 1960 et 1980. Mais après la production d'environ 51 Mt de soufre, Lacq est aujourd'hui pratiquement épuisé.

### Andalousite

Avec le gisement de Guerphalès en Glomel (22), la France possède le second gisement mondial de ce minéral exploité pour la fabrication de matériaux réfractaires. Selon les années, entre 40 et 75 kt d'andalousite sont produites, par an, par la société Imerys, et plus de 1,95 Mt depuis l'ouverture du gisement en 1970. Le minerai est

2. Agglomération physico-chimique, naturelle ici, de plusieurs minerais.

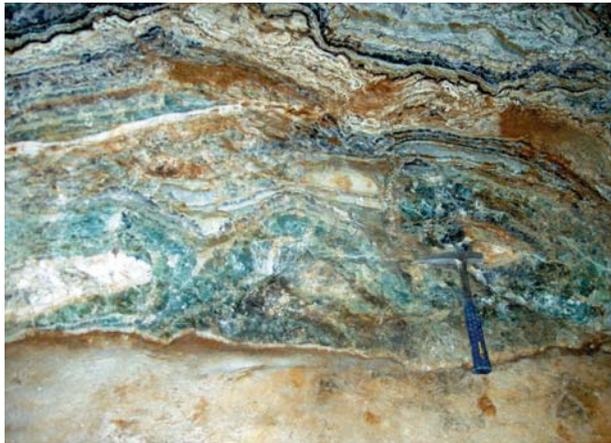


Photo 3. Minerai de fluorine-barytine de Josat-Langeac – Haute Loire (source : E. Marcoux).

une cornéenne à andalousite et biotite, formée par métamorphisme de contact du granite de Rostrenen aux dépens des schistes ordoviciens d'Angers.

## Autres minéraux industriels

Le gisement de **talc** de Luzenac (09) dans les Pyrénées est le plus grand au monde avec plus de 20 Mt de réserves et une production annuelle de 450 kt assurée par Imerys. Il s'est formé par métasomatose siliceuse de dolomies ordoviciennes, les fluides vecteurs empruntant un puissant plan de chevauchement. L'âge de ce gisement a été fixé entre 112 et 97 Ma, soit avant la surrection pyrénéenne. L'**amiante** française, si l'on excepte les petits gisements alpins, fut produite en quasi-totalité à Canari dans le Cap corse avec 250 kt extraites de 1937 à 1965. Le **kaolin** est toujours exploité en Bretagne par Imerys (Ploemeur - 56 et Berrien - 29), la SOKA (Quessoy - 22) et dans l'Allier (Échassières - 03 - également par la société Imerys. La production annuelle française se situe aux alentours de 180 kt. Deux gisements notables de **diatomite** existent en France : Virargues (ou Foufouilloux) (15) et Saint-Bauzile (07) qui produisent environ 100 kt/an. Il s'agit de deux gisements « volcaniques », les colonies de diatomées ayant proliféré dans des maars.

Cet inventaire des ressources minérales françaises est loin d'être exhaustif, des exploitations très actives d'autres minéraux industriels et de construction existant en France, notamment de feldspaths, de carbonates pour charges (craie, calcaire et marbres), de chaux, de silice, d'argiles diverses et de gypse. Exploitées par de grands groupes industriels (Imerys, Omya, BPB Placo...) elles témoignent que la disponibilité de certaines ressources minérales est une absolue nécessité pour maintenir des activités industrielles de pointe.

## Potentialités : quel futur minier possible ?

L'abondance récente de matières premières entraîna une chute des cours et sa vague de fermetures associées, notamment des mines de taille petite à moyenne, incapables de résister à une baisse durable des cours. La majorité des mines françaises appartenait à cette catégorie, certes adaptée aux besoins de l'époque ; elles furent balayées par le gigantisme des grandes compagnies : même Pechiney, 4<sup>ème</sup> producteur mondial d'aluminium et exploitant de la bauxite de Provence, fut racheté en 2003 par Alcan Corporation, le géant canadien de l'aluminium, avant d'être lui-même absorbé par Rio Tinto en 2007... Un retour à une industrie minière plus « régionale », évidemment respectueuse des règles environnementales, est-elle si impensable ? Certainement pas, d'autant que les potentialités sont réelles en métropole.

De nombreuses découvertes minières sont à mettre au crédit de l'inventaire minier national (1968-1992), notamment de son acteur majeur, le BRGM. Certaines ont fait l'objet de travaux de reconnaissance avancée, allant parfois jusqu'à l'exploitation (Saint-Salvy - 81, Chaillac - 36...) même très partielle (Les Brouzils - 85, Ty Gardien - 29...). En 2016, les potentialités minières sont réelles : des cibles minières majeures ont déjà été identifiées, certaines ont même été cubées, établissant un préambule géologique très favorable à un redémarrage minier. L'avenir minier peut s'envisager sous trois angles à risque croissant : poursuite de l'exploitation d'un gisement ancien (quand des réserves existent), estimation précise de cibles reconnues mais non exploitées, et bien sûr l'exploration *green field* pour de nouvelles découvertes, facilitée par le perfectionnement des outils d'exploration et la bonne connaissance de la métallogénie française.

Avant de parler des potentialités, il faut mentionner les substances en cours d'exploitation et disposant de réserves confortables. Aucune inquiétude géologique en effet sur les réserves de nickel néo-calédoniennes qui se chiffrent à 8,4 Mt métal, soit 25 % des réserves mondiales et plus de 40 ans d'exploitation au rythme actuel, et de cobalt qui s'élèvent à 200 000 t métal. Reste à souhaiter un contexte économique moins capricieux. Pas d'inquiétude non plus pour l'andalousite de Glomel, avec des réserves de 1,6 Mt (estimation partielle) assurant 20 ans minimum d'exploitation, et le talc de Luzenac fort de ses 20 Mt minimum de réserves + ressources.

## Les potentialités fortes

Le tungstène, l'antimoine, l'or et la fluorine sont les 4 substances pour lesquelles la France possède les meilleures potentialités minières.

L'ancien gisement de **tungstène** de Salau (09) n'a été que partiellement exploité, avec une teneur de coupure de 0,8 % WO<sub>3</sub>. La teneur de coupure actuelle, aux environs de 0,3 % WO<sub>3</sub> et le réexamen des sondages modélisant en 3 D les amas minéralisés et leurs extensions, laissent envisager une réserve supérieure à 35 kt WO<sub>3</sub>, un chiffre qui la placerait d'emblée au premier rang européen. Le skarn de Coat-an-Noz (22), au sud de Guingamp, a été cubé en 1980 à 1,1 Mt à une teneur moyenne de 1,3 % WO<sub>3</sub>, avec des quantités appréciables de cuivre. D'autres potentialités majeures existent notamment dans l'emprise d'anciennes mines : Montbelleux (35), Leucamp-Engualès (15-81), Montredon-Labessonnié (81), et sur des cibles découvertes par l'inventaire minier (Fumade - 81, avec au moins 26 kt WO<sub>3</sub>).

L'**antimoine** est un peu dans le même cas, avec cependant des potentialités connues moindres. En Vendée notamment, des réserves prouvées de 10,9 kt, à peine exploitées de 1988 à 1991 (895 t produites), sont en terre aux Brouzils (85). Et le faisceau voisin de Mesnard-la-Barotière (85) recèle aussi des réserves importantes d'antimoine et d'or.

Pour l'**or** métropolitain, l'essentiel des mines appartiennent au type *shear-zone*, c'est-à-dire contrôlées par des failles ductiles-cassantes hercyniennes de grande extension verticale. L'extraction n'ayant concerné que les parties riches (teneur moyenne de 10 g/t pour toutes ces mines) et superficielles de ces structures (-200 m à Laurières et Le Bourneix - 87), un stock important d'or est donc présent sur les bordures des lentilles riches exploitées, et surtout en profondeur. En Guyane<sup>3</sup>, l'extraction a essentiellement porté jusqu'à aujourd'hui sur des placers. Elle devrait logiquement se poursuivre et aussi se développer par minage des zones-sources de ces placers, des *shear-zones* du Protérozoïque inférieur (vers 2 000 Ma) aux ressources importantes : Loulouie, Adieu Vat, Saint-Pierre, Espérance... (Milési *et al.*, 1995).

La France possède des ressources importantes en **fluorine**. Le Morvan semble le mieux placé avec plus de 6 Mt de ressources estimées, principalement sur les sites de Pierre-Perthuis (89) (2,25 Mt), Courcelles-Fremoy (21) (1 Mt), et Antully (71) (1,4 Mt) où un projet d'exploitation avancé suit son cours.

## Les espoirs plus nuancés

Concernant les métaux « granitiques » autres que

le tungstène (étain, lithium, niobium, tantale, béryllium...), les potentialités sont plus limitées. Pour l'**étain**, le district d'Abbaretz (44) représente la meilleure cible connue, 8 700 t de cassitérite ayant été identifiée lors des prospections des années 1970 dans le « bloc de Beaulieu », au sud-ouest de l'*open pit* du Bois Vert, et d'autres faisceaux filoniens stannifères sont connus dans le district. Le district d'Échassières (03) est riche de filons de wolframite et de cassitérite et possède probablement des potentialités fortes.

Avec la coupole d'Échassières (03), la France possède une des plus importantes réserves de **lithium** d'Europe sous forme de lépidolite (estimée à 100 kt de Li<sub>2</sub>O ; Béziat et Bornuat, 1995) qui pourrait constituer une ressource d'avenir pour ce métal, valorisée par des sous-produits comme la colombo-tantalite, également présente et déjà récupérée. Les pegmatites du Limousin, également à lépidolite, constituent des corps filoniens lenticulaires d'extension apparemment trop limitée pour susciter un intérêt minier. La lame aplitique tardi-hercynienne de Tréguennec (29) a retenu l'attention depuis longtemps par son caractère polymétallique à Sn, Li, Nb, Ta et Be. Les réserves calculées par le BRGM, (1983-1985) après une campagne de sondages carottés, étaient de 8,5 Mt de minerai contenant 5,4 kt d'étain (teneur de 639 g/t), 66 kt de Li<sub>2</sub>O (0,78 %), 1,6 kt de tantale (190 g/t), 1 300 t de niobium (155 g/t) et 2 400 t de béryllium (284 g/t ; Lulzac, 1986). Des chiffres qui ne permettent cependant pas d'atteindre le seuil économique. Les concentrations alluvionnaires et éluvionnaires de Guyane, et à un degré moindre les pegmatites sodolithiques sources, pourraient présenter un intérêt pour la colombo-tantalite, dont 50 t auraient été extraites entre 1953 et 1980.

Pour le **plomb**, le **zinc** et le **cuivre** (avec l'**argent**), les meilleures espérances reposent sur les amas de sulfures massifs polymétalliques : Porte-aux-Moines (22) et Bodennec (29) dans le Dévonien armoricain, Chizeuil (71) dans le Dévonien du Morvan, et surtout Rouez (72) dans le Briovérien du pays manceau. Le tonnage de Rouez (95 Mt) en fait un amas de taille mondiale, pour lequel les teneurs modestes en Cu, Zn et Pb sont contrebalancées par des teneurs moyennes en argent (21 g/t), mais fortes en or (1,5 g/t). Chessy-les-Mines (69), en Brévenne, reconnu par travaux miniers du BRGM en 1990, est un amas de taille moyenne (5,8 Mt de minerai), riche (8,2 % Zn, 2,4 % Cu et 22 % de barytine), mais de localisation délicate.

La bordure cévenole, bornée par deux grandes mines de plomb-zinc, Largentière (07) et Les Malines (30), et jalonnée de nombreux indices et mines petites à moyennes, recèle certainement encore des minéralisations notables. En outre, la richesse de certaines struc-

3. Voir article de Michel Boudrie et Michel Jébrak dans ce numéro.

tures minéralisées en « petits » métaux stratégiques (germanium, indium) et argent, ramènent plomb et zinc au rang de coproduits ! L'intérêt se porte sur des structures essentiellement zincifères riches en ces métaux : Plélauff (22), La Telhaie (35), Arrens (65), voire Saint-Salvy, filon très riche en germanium exploité jusqu'à 430 m de profondeur où les teneurs de front lors de la fermeture étaient encore de 11 % Zn !

### Les espoirs minces à très minces

Pour d'autres substances, les potentialités métropolitaines semblent moindres. L'**uranium** fit l'objet d'une exploration très importante de l'État et de compagnies privées, conclue par l'ouverture de nombreuses mines exploitées jusqu'à -400 m pour les plus profondes. La découverte de nouvelles minéralisations majeures dans cet intervalle 0-400 m est donc très peu probable. Une extension en profondeur de ces filons est par contre envisageable mais le tonnage reconnu sera-t-il suffisant ? Les filons de 3 à 5 kt, économiques en 1960-1980, le seraient difficilement en 2016, surtout quand il faut les exploiter sous une tranche superficielle stérile. La seule lueur positive pour l'uranium métropolitain réside dans des formations sédimentaires : les sables de l'Éocène moyen de Coutras en Gironde, qui portent une ressource identifiée d'environ 25 kt d'uranium.

Malgré l'estimation de ressources importantes avancées notamment en Lorraine (6 Gt à 30-35 % Fe plus 1 Gt à 22-24 % Fe) et dans le Massif armoricain (autour de 1 Gt), les minerais de **fer** français sont trop phosphoreux et à trop basse teneur (30-40 % en moyenne) pour espérer concurrencer les minerais riches des gigantesques gisements australiens, brésiliens et sud-africains. Les réserves d'**aluminium** ont été estimées à 19,98 Mt (plus des réserves conditionnelles à 25,17 Mt), chiffrées à l'arrêt des exploitations (Lajoinie et Laville, 1980), un chiffre trop faible pour espérer relancer l'exploitation d'aluminium. Seul espoir : le gallium, fréquemment contenu dans les bauxites et qui pourrait être le métal « payant » mais, à notre connaissance, aucune analyse de gallium n'a été réalisée dans ces minerais.

Les terres rares portent bien leur nom en métropole : elles y sont effectivement très rares ! Les placers à monazite grise du Grand-Fougeray (35), un temps porteurs d'espoir, recèlent des ressources bien trop faibles pour espérer susciter un intérêt économique. En Guyane, les indices de platine (Toucouchi) et les diamants (Montagne de Kaw), malgré leur originalité, ne suscitent guère qu'un intérêt scientifique dans l'état actuel des connaissances.

## Conclusion

La mine française eut ses grandes heures de gloire et de prospérité. Elle est actuellement en sommeil, du moins en métropole, malgré des ressources connues importantes en plusieurs substances, ce qui constitue le socle essentiel pour un réveil minier. Pour amorcer ce réveil, il faudra entre autres combattre plusieurs idées reçues bien ancrées, dont deux majeures, une technico-géologique, l'autre sociale. La première dit que tout a été exploité durant ces âges d'or et qu'il n'y aurait plus rien à extraire du sous-sol métropolitain, ce qui est bien sûr totalement faux. La seconde est l'image de Germinal encore trop souvent accrochée à la mine actuelle. Cette période dramatique remonte à 1885... depuis la mine a fort heureusement progressé énormément, en conditions de travail, en respect de l'environnement, et en technique. La mine a progressé, au moins autant que le rail qui, dans l'intervalle, a changé de monde, passant de la *Railway Steam Locomotive* de 1885 au TGV d'Alstom et ses 574 km/h ! **Pour gagner ce combat, une seule solution : informer encore et encore.**

## Références

- Béziat P. et Bornuat M., 1995. Carte minière de la France métropolitaine à 1/1 000 000. Éditions du BRGM.
- Bouchot V., Milési J.-P., Lescuyer J.-L., Ledru P., 1997. Les minéralisations aurifères de la France dans leur cadre géologique autour de 300 Ma. *Chronique de la Recherche Minière*, 528, 13-62.
- Bouchot V., Ledru P., Lerouge C., Lescuyer J.-L., Milési J.-P., 2005. Late-Variscan mineralizing systems related to orogenic processes: the French Massif Central. *Ore Geology Reviews* vol. 27, n° 1-4, 169-197.
- Cassard D., Chabod J.-C., Marcoux É., Bourguine B., Castaing C., Gros Y., Kosakévitch A., Moisy M., Viallefond L., 1994. Mise en place et origine des minéralisations du gisement filonien à Zn, Ge, Ag (Pb,Cd) de Noailhac-Saint-Salvy (Tarn, France). *Chronique de la Recherche Minière*, 514, 3-37.
- Lajoinie J.-P. et Laville P., 1980. Inventaire des formations bauxitiques du Midi de la France. *Annales des Mines*, Juillet-Août 1980, 155-166.
- Lescuyer J.-L., Bouchot V., Cassard D., Feybesse J.-L., Marcoux É., Moine B., Piantone P., Tegye M., Tollon F., 1993. Le gisement aurifère de Salsigne (Aude, France) : une concentration syntectonique tardivarisque dans les sédiments détritiques et carbonatés de la Montagne Noire. *Chronique de la Recherche Minière*, 512, 3-73.
- Lulzac Y., 1986. Les minéralisations à étain, tantale et lithium de Tréguennec (Finistère). Rapport inédit BRGM, 86 DAM 011 OP4.
- Marcoux É., Serment R., Allon A., 1984. Les gîtes d'antimoine de Vendée (Massif armoricain, France). Historique des recherches et synthèse métallogénique. *Chronique de la*

Recherche Minière, 476, 3-30.

- Milési J.-P., Egal E., Ledru P., Vernhet Y., Thiéblemont D., Cocherie A., Tegye M., Martel-Jantin B., Lagny P., 1995. Les minéralisations du nord de la Guyane dans leur cadre géologique. Chronique de la Recherche Minière, 518, 5-58.

- Périchaud J.-J., 1980. L'antimoine, ses minerais et ses gisements. Synthèse géologique sur les gisements du Massif central français. Chronique de la Recherche Minière, 456, 5-64.

## Une histoire minière : « LaSource Compagnie Minière »

Daniel Normand<sup>1</sup>.

### Historique

Sans revenir sur l'historique du BRGM, il est bon de rappeler que, lors de sa création en 1959, il recevait en héritage un certain nombre d'actifs miniers provenant du Bureau Minier de la France d'Outre Mer (BUMIFOM). Parmi ces actifs, on peut citer des gisements d'importance mondiale, comme les gisements de fer de MIFERMA en Mauritanie, la mine de manganèse de Moana au Gabon ou le gisement de phosphate de Taïba au Sénégal, qui produisent toujours des quantités importantes de minerai et dont le potentiel a été réévalué pour une nouvelle mise en exploitation. Parmi les autres gisements, on peut retenir ceux de potasse du Congo et de fer des Monts Nimba en Guinée.

Ci-après quelques indications sur ces différents gisements (Fig. 1) :

- les gisements de fer de la **MIFERMA** produisent à ce jour encore plus de 13 Mt /an de minerai. Les investissements en cours par la SNIM (Société Nationale Industrielle et Minière) ont pour objectif d'atteindre une production de 40 Mt/an en 2025 après la mise en exploitation d'un nouveau gisement ;
- la mine de manganèse de **Moana**, exploitée par COMILOG, a produit 3,5 Mt de minerai en 2014 ;
- le gisement de phosphate de **Taïba** produit encore de l'ordre de 0,5 Mt/an de phosphate marchand ;
- le gisement de potasse du **Congo** a produit plus de 2 Mt de KCl entre 1969 et 1977, date de la fermeture de la mine suite à une inondation. Le gisement a été repris en 2013 par un groupe chinois : MagMinerals Potasse Congo (MPC). La production prévue est de 1,2 Mt/an de KCl à partir de saumure ;
- le gisement de fer des **Monts Nimba** (935 Mt à 63,5 % de Fe) est passé, en août 2014, sous contrôle d'ArcelorMittal

qui détient 56,5 % du gisement, après le rachat des parts de BHP Billiton et d'Areva S.A.

Lors de la création du BRGM, il était entendu que l'État lui délègue, via des dotations, l'approvisionnement de l'industrie française en matières premières et ce, en continuité avec les efforts entrepris par le BUMIFOM. Les éventuelles découvertes seraient alors rétrocédées à des entreprises privées, le BRGM ne conservant que des participations minoritaires et/ou des royalties. Afin de mener à bien cet objectif hors de France, le BRGM allait, au fil du temps, créer un certain nombre de filiales d'exploration appelées SEREM (Société d'Études et de Recherches Minières). Tel fut le cas au Canada, aux États-Unis, au Mexique, au Pérou, en Australie, etc.

Les prospections entreprises par le BRGM, soit seul,



Figure 1. Carte générale montrant la localisation des principaux gisements d'Afrique issus du BUMIFOM ou évoqués à propos de LaSource (© d-maps.com, complété).

Légende.

**Gisements hors LaSource.** 1. Fer de la Miferma (Mauritanie), 3. Phosphate de Taïba (Sénégal), 6. Fer des Monts Nimba (Guinée), 11. Manganèse de Moana (Gabon), 12. Potasse (République du Congo).

**Gisements de LaSource.** 2. Or de Tasiast (Mauritanie), 4. Or de Loulo (Mali) - 5. Or de Lero (Guinée) - 7. Or d'Ity (Côte d'Ivoire) - 8. Or d'Angovia (Mali) - 9. Or d'Ahafo (Ghana) - 10. Or d'Akyem (Ghana), 13. Or d'Hassaï (Soudan).

1. Ancien directeur géographique de l'exploration pour LaSource.

soit en association avec des compagnies minières, devaient conduire à la découverte de plusieurs gisements en France ou à l'étranger. Pour assurer la gestion de ces découvertes et leur mise en exploitation, deux sociétés furent mises sur pied COFRAMINES et Mines Or S.A.

### COFRAMINES

La création de COFRAMINES (Compagnie Française des Mines), comme filiale du BRGM, en 1978, répond à ce besoin de disposer d'un outil adapté pour gérer les actifs miniers de ce dernier. COFRAMINES regroupe ainsi les exploitations suivantes :

- la mine de **Saint-Salvy** (Pb, Zn, Ge) dans le Tarn (81), exploitée de 1973 à 1993 par le groupe Penarroya - Meta-leurope, produira 2,8 Mt à 11,7 % de zinc ;
- les gisements d'or du **Bourneix-Laurières** (87) exploités par Penarroya, puis COGEMA, produiront de l'ordre de 0,7 Moz d'or entre 1982 et 2001. Rappelons que les réserves des mines d'or sont généralement exprimées en millions d'onces (Moz) et que 1 Moz représente, pour faciliter les calculs, de l'ordre de 30 t d'or (1 once = 31,10 g) ;
- la mine de tungstène de **Salau** (07), exploitée entre 1970 et 1986 par la Société Minière d'Anglade, totalisera une production de 12 415 t de WO<sub>3</sub> ;
- la mine d'or de **Salsigne** (11) aura produit, de 1892 à 2004, de l'ordre de 3,8 Moz (120 t) d'or ;
- les gisements de **kaolin de Bretagne** (Société Kaolinère Armoricaire, SOKA) avec une production de l'ordre de 100 000 t/an. Des études de faisabilité sont également entreprises en Ukraine sur des concentrations de kaolin en vue de diversifier les ressources ;
- la mine de **Neves Corvo** (Cu, Pb, Zn, Ag, Sn), gisement découvert en 1975 dans le cadre d'une « joint-venture » Penarroya - BRGM (49 %) et État du Portugal (51 %). Les parts des actionnaires français seront vendus à Rio Tinto qui les cédera à Lundin Mining Corporation. Au 30 juin 2015, les réserves (prouvées + probables) étaient de plus de 26 Mt à 2,7 % Cu et 25 Mt à 7,1 % Zn. Le tonnage total de sulfures représente plus de 300 Mt.

### Mines Or S.A.

Cette filiale du BRGM avait pour objectif de rassembler sous une même entité les projets miniers et les mines d'or que possède le BRGM afin :

- d'assurer leur développement ;
- de diriger, autant que faire se peut, leur exploitation, comme opérateur dans les gisements suivants :

- **Ity en Côte d'Ivoire** qui a produit 0,08 Moz en 2013, pour des réserves estimées à l'époque à 4 Mt à 6,4 g/t soit 0,8 Moz ;
- **Hassaï au Soudan**. Le gisement, découvert et mis en exploitation par le BRGM, a produit 0,25 Moz en 2013. Les ressources encore disponibles seraient, à la même date, de 11,9 Moz, dont la plus grande partie en minerai sulfuré réfractaire. À la date de 2013, la production cumulée du gisement, essentiellement à partir de minerai oxydé, aurait été de 2,3 M oz ;
- **Lero en Guinée** mis en exploitation par LaSource en 1995, désormais propriété de Nordgold, a produit, cumulativement, à la fin de 2015, environ 2,5 M oz (76 t Au). À la fin de 2014, les réserves étaient de 2,6 M oz. L'exploitation est programmée jusqu'en 2026. Le gisement initial et ses satellites auront donc produit à cette date environ 5 M oz ou 155 t Au ;
- **Lawyers au Canada**, exploité de 1989 à 1994, a produit de l'ordre de 0,3 M oz cumulé ;
- de gérer ses participations dans les projets où il est minoritaire : c'est le cas de **Yanacocha au Pérou**, fruit d'une découverte des équipes du BRGM dans le cadre d'une association avec la société péruvienne Buena-ventura et avec Newmont. Le gisement est ensuite développé par Newmont. Suite à un imbroglio juridique, le BRGM perd tous ses droits dans le gisement en 1997. En 2014 le gisement a produit 0,5 M oz. Les réserves étaient estimées en 2011 à 471 Mt à 1 g/t soit de l'ordre de 14 M oz. En 2005 le gisement avait produit 3,3 M oz soit plus de 100 t d'or.

### Création de LaSource Compagnie Minière

En 1994, la tutelle du BRGM décide la privatisation des actifs miniers du groupe. Cette décision fait suite aux difficultés rencontrées par ses filiales COFRAMINES et/ou Mines OR S.A. comme, par exemple, la fermeture de la mine de Salau en raison de la chute des cours du wolfram, l'arrêt de la mine de Lawyers par manque de réserves ou celui de Salsigne. À cela s'ajoute, pour COFRAMINES, l'impossibilité de disposer des fonds nécessaires pour investir dans la mise en exploitation de gisements de taille internationale, comme Neves Corvo.

À la suite de contacts infructueux de partenariat avec différents groupes miniers français, le BRGM décide de s'associer avec la compagnie minière australienne Normandy Poseidon, jeune compagnie spécialisée dans l'or. LaSource Compagnie Minière S.A., filiale à 60 % du Groupe Normandy et à 40 % du BRGM, est officiellement créée en septembre 1994.

Au départ, les deux entités apparaissent complémentaires. LaSource dispose en effet (Fig. 2 et 3) :

- des actifs des filiales du BRGM, en particulier de leurs gisements d'or africains nouvellement découverts comme : l'ity, Léro, Hassaï, ou sud-américains comme Yanacocha. Si ces gisements ne sont pas encore tous en exploitation, ils laissent espérer, dans un avenir proche, des retours financiers importants. Rappelons que le BRGM, disposant de 25% des droits sur le gisement de Yanacocha, aurait bénéficié en 2005 de l'ordre de l'équivalent de 0,7 M oz d'or... ;
- de projets prometteurs venant de la « joint-venture » existante entre le BRGM et le groupe sud-africain Gencor, avec en particulier des résultats encourageant en Irian Jaya sur des indices de « porphyry » à cuivre et or et au Ghana sur de nouvelles structures aurifères, parallèles à celles d'Ashanti, mises en évidence par géochimie ;
- des projets, initiés et développés par le BRGM, situés en Mauritanie, au Tasiast, sur de nouvelles structures aurifères, en Côte d'Ivoire et au Mali sur des indices et/ou des gisements aurifères comme Angovia et Loulo, en Espagne avec une étude de faisabilité sur un gisement de cuivre et or dans la Province de Huelva et, en Bolivie, sur un indice de cuivre ;
- d'apports du Groupe Normandy avec : en Turquie le gisement d'or d'Ovacik, en attente du « permis d'exploiter », ainsi qu'un projet or au stade de la faisabilité et, en Grèce, plusieurs indices de minéralisation aurifère ;
- de « cash » en provenance du groupe Normandy qui totalise une production de plus d'un million d'oz d'or par an (soit de l'ordre de 30 t d'or par an), ce qui lui permet

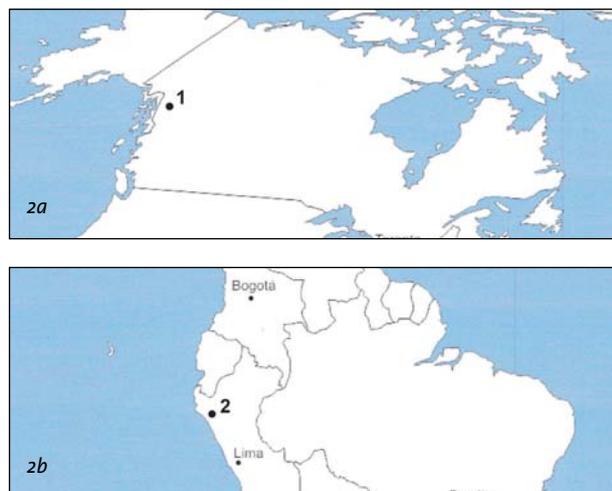


Figure 2. Carte générale montrant la localisation des principaux gisements d'Amérique du Nord (2a) et d'Amérique du Sud (2b) évoqués à propos de LaSource (© d-maps.com, complété).  
Légende : 1. Or de Lawyers (Canada), 2. Or de Yanacocha (Pérou).



Figure 3. Carte générale montrant la localisation des principaux gisements d'Europe évoqués à propos de LaSource (© d-maps.com, complété).  
Légende : 1. Perama Hill (Grèce) - 2. Ovacik (Turquie).

de disposer de fonds conséquents pour entreprendre des campagnes de prospection importantes, à un cours minimum de l'or de 300 \$ l'once.

## Les atouts de LaSource

Dès sa création, outre les actifs indiqués ci-dessus, LaSource dispose de plusieurs avantages qui vont favoriser son développement :

- une stratégie clairement définie se focalisant sur quelques domaines géographiques et en concentrant ses efforts sur l'or, avec en priorité l'examen de minéralisations facilement exploitables en « heap leaching », c'est-à-dire par la méthode dite de lixiviation en tas (récupération de l'or par circulation de solution cyanurée sur des tas de minerais). Ce type de minéralisation, correspondant à des minerais oxydés, nécessite, en effet, de plus faibles investissements que pour des minerais sulfurés ;
- un portefeuille de projets qui laisse espérer une production de 12 à 15 t Au/an à l'horizon 2 000, production provenant de ses propres mines et/ou de ses participations dans des gisements exploités par d'autres ;
- des équipes techniques peu nombreuses qui font largement appel à la sous-traitance. C'est ainsi que le BRGM met, par contrat, à disposition de LaSource son expertise technique en géochimie, géologie, géophysique, etc. ;
- un budget d'exploration conséquent représentant de l'ordre de 15 millions de dollars par an, dont 60 % sont consacrés aux sondages. Priorité est donnée aux sondages, dits à « circulation inverse », particulièrement bien adaptés pour circonscrire les minéralisations oxydées, exploitables par cyanuration en tas ;

- une structure réactive de partenariat dans les cessions et les acquisitions d'actifs.

### Période de développement 1994-1999

Au cours de cette période, LaSource eut l'opportunité de mettre à jour trois gisements en Afrique et un, en Grèce.

#### Gisements africains

##### En Mauritanie

En Mauritanie le gisement, dit de Tasiast, découvert par le BRGM à partir d'anomalies géochimiques, est en partie délimité par les équipes de LaSource à partir de 1995. En 2001 LaSource vend cet actif, jugé trop marginal, à la compagnie canadienne Kinross gold Corporation. Les réserves (prouvées plus probables) étaient, en décembre 2013, de 175 Mt à 1,71 g/t soit de l'ordre de 9,5 Moz, sans tenir compte du coefficient de récupération. En 2014, la production annuelle a été de 0,26 Moz d'or. Un projet d'augmentation de la capacité de l'usine de traitement du minerai est en cours, en vue de passer de 8 000 t à 12 000 t/j, puis à 36 000 t d'ici 2017.

##### Au Ghana

Deux gisements sont mis en évidence au cours de la période, dans le cadre de la *joint-venture* avec Gencor, puis par Newmont après son OPA<sup>2</sup> sur Normandy en 2002 :

- Akyem dont les réserves étaient évaluées à 7,2 Moz en 2013 pour une production d'or de 0,350 à 0,450 Moz/an. Les investissements consentis pour mettre le gisement en exploitation ont été de 1,100 M \$ ;
- Ahafo, en exploitation depuis 2006, avec une production moyenne de 0,570 Moz/an, a donc déjà cumulé de l'ordre de 3,5 Moz d'or.

##### En Grèce

Un indice, Perama Hill, découvert en mars 1997, à la suite d'une campagne de prospection géochimique, conduit à la délimitation d'un gisement en 1998. L'étude de faisabilité, complétée en 1999, indique des réserves prouvées et possibles de 1,4 Moz à partir d'un minerai à 3,46 g/t d'or. Le gisement, désormais la propriété d'Eldorado Gold, n'est toujours pas exploité.

### Le déclin 2000 - 2002

Plusieurs points vont conduire au déclin puis à la disparition de LaSource. Pris séparément ils n'auraient pas eu d'impact significatif, mais leur conjonction a été un élément déterminant. C'est ainsi que l'on peut noter :

- au Pérou, l'imbricatio juridique qui conduit le BRGM à perdre sa participation dans Yanacocha en 1997 ;
- en Turquie, si les autorités turques ont autorisé la mise en exploitation du gisement d'Ovacik et que les investissements ont été réalisés, le « permis d'exploiter » n'est pas immédiatement accordé. Le gisement ne peut donc être exploité, ce qui entraîne des pertes de revenus non négligeables pour LaSource. Il en est de même en Grèce où le gisement de Perama Hill attend des autorités grecques le « permis d'exploiter » ;
- si, en 1997, l'OPA de la société Newcrest sur le groupe Normandy est un échec, le groupe a montré sa fragilité et d'autres sauront s'en rappeler ultérieurement ;
- la chute drastique des cours de l'or, sensible dès 1996 et qui s'est poursuivie sous le seuil de 300 \$ pendant toute la période de fonctionnement de LaSource (Fig. 4), entraîne des pertes de revenus importantes pour le groupe Normandy. LaSource doit donc réduire ses programmes d'exploration et vendre des actifs pour concentrer ses efforts sur ses prospects les plus prometteurs ;
- dans le même temps, le BRGM ne peut suivre les augmentations de capital demandées par LaSource. Ainsi en 1999, le BRGM décide de se désengager totalement de LaSource et il récupère, en contrepartie, outre un certain nombre de prospects en cours d'investigation, les actifs détenus par LaSource dans Angovia (Côte d'Ivoire) et dans la mine de Hassaï (Soudan). Ces actifs ont été rétrocédés par la suite, après de longues tractations, à Cogéma, conformément aux directives gouvernementales de 1994 ;
- finalement, en 2002, Newmont lance une OPA victorieuse sur Normandy. LaSource passe ainsi sous la coupe de Newmont qui conserve les meilleurs prospects, comme ceux du Ghana, et revend à de petites compagnies minières les gisements au statut juridique incertain, comme Perama Hill en Grèce. Il se débarrasse également des gisements considérés sans potentiel suffisant ;
- on retiendra enfin que Newmont va bénéficier dès 2003 d'une remontée spectaculaire des cours de l'or qui va lui faciliter la mise en exploitation des gisements découverts par LaSource.

### En conclusion

Il est certain que LaSource est une incontestable réussite technique. En un peu plus de cinq ans, elle a été en mesure de découvrir plusieurs gisements d'importance mondiale qui, lors de l'OPA de Newmont, laissaient espérer de l'ordre de 12 M oz ou 375 t tonnes d'or. Ces réserves potentielles ont été, non seulement confirmées, mais

2. Offre publique d'achat.



Figure 4. Évolution du cours de l'or de 1970 à février 2016 ([http://France-inflation.com/cours\\_de\\_l\\_or\\_historique\\_et\\_actuel.php](http://France-inflation.com/cours_de_l_or_historique_et_actuel.php)).

encore augmentées, pour passer en 2014 à un tonnage prouvé de 19,3 Moz soit 600 t d'or.

Parallèlement la Source faisait preuve de son dynamisme en étant en mesure de délimiter un gisement en un peu plus de deux ans, de la découverte d'un indice à la finalisation de l'étude de faisabilité, comme pour le gisement de Perama Hill en Grèce dont les réserves sont de 1,4 Moz ou 41 t d'or.

LaSource est aussi un échec, car elle n'a pas été en mesure de consolider ses découvertes soit par manque de temps comme dans le cas du Ghana ou par l'attitude des

mouvements écologiques s'opposant à l'utilisation du cyanure pour la récupération de l'or comme à Ovacik en Turquie et, dans une moindre mesure, à Perama Hill en Grèce.

Que dire de cet échec qui a conduit à la perte pour le BRGM de ses actifs miniers. Plusieurs points peuvent retenir l'attention. L'impossibilité pour le BRGM ou LaSource de garder des participations significatives dans des gisements d'importance mondiale comme Neves Corvo, pour le BRGM, faute de moyens financiers ou, pour LaSource, comme dans le cas de Yanacocha, par manque d'appréciation juridique du dossier. À cela s'ajoute l'impossibilité de mettre en exploitation de petits gisements économiquement rentables comme Ovacik ou Perama Hill, pour des raisons politiques et environnementales. Ne doit-on pas de ce fait s'interroger sur la nécessité de mener des campagnes d'exploration minière en Europe si on ne peut pas exploiter les découvertes ou, comme cela se passe actuellement en France, où il est difficile, voire impossible, de mener une simple campagne de géochimie, ou si chaque sondage doit recevoir une autorisation préfectorale.

*Article repris d'une conférence faite en janvier 2015 au BRGM ayant pour thème l'Avenir de la mine en France par Daniel Normand.*

*L'auteur remercie chaleureusement Etienne Wilhelm pour sa pertinente relecture du texte de cet article.*

## Une spécificité minière : la valorisation de la cassitérite et de la colombo-tantalite<sup>1</sup> associées au kaolin de Beauvoir (Échassières, 03)

Jean-Michel Négroni<sup>2</sup>.

Depuis 2005, année du rachat de Denain Anzin Minéraux, la société Imerys Ceramics France poursuit la valorisation du gisement de kaolin de Beauvoir<sup>3</sup> et bénéficie, comme ses prédécesseurs, d'un arrêté ministériel<sup>4</sup> l'autorisant à valoriser des substances minières (étain, niobium, tantale et connexes) contenues dans la masse minérale abattue pour la production du kaolin.

Cette juxtaposition d'activités relevant à la fois du Code minier (concentrés à Sn, Ta, Nb) et du régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (kaolin, sables siliceux) a pour origine un contexte géologique remarquable, des circonstances historiques particulières et une adaptation industrielle permanente.

### Un peu d'histoire

La découverte en 1848 du kaolin à proximité d'Échassières marque les débuts et le développement de l'activité extractive de cette région relayée et amplifiée à partir de 1915 par une véritable épopée minière en liaison avec l'exploitation du wolfram (minerai de tungstène) des Montmins. Mais ce sont les travaux scientifiques entrepris par Guy Aubert dans les années soixante sur les minéralisations à étain, lithium, tungstène et béryllium qui vont orienter le destin minier d'Échassières, avec les premières tentatives pour valoriser ce qui semble être un très important gisement de lithium (sous forme de

1. Plus connue sous l'abréviation de « Coltan ».

2. Géologue à Imerys Group, Geology & Mining. Courriel : [jean-michel.negrone@imerys.com](mailto:jean-michel.negrone@imerys.com)

3. Installation classée pour la protection de l'environnement. Appui sur 2 arrêtés préfectoraux :

■ Arrêté d'autorisation d'une carrière n° 1713 / 91, du 4 Juin 1991, expirant le 20 Janvier 2020.

■ Arrêté N° 940/91, du 8 Avril 1991, autorisant l'unité de traitement de kaolin.

4. Selon un arrêté ministériel au titre du Code minier :

■ Arrêté d'autorisation du 6 Octobre 2014, autorisant la valorisation des substances minières (étain, niobium, tantale et connexes) dans l'exploitation du kaolin de Beauvoir.

mica lithinifère ou lépidolite) avec des quantités significatives d'étain (cassitérite) et de béryllium.

Durant les décennies suivantes, les études techniques et économiques indispensables à la mise en valeur d'un tel gisement et les premiers essais d'extraction ne permettront pas de démontrer la faisabilité d'un tel projet et s'achèveront en 1991, suite au rejet de la prolongation du Permis d'Exploitation (PEX). La question de la valorisation du lithium à partir des lépidolites reste posée aujourd'hui, du fait de son désavantage concurrentiel avec l'extraction du lithium réalisée principalement à partir des chlorures des salars d'Amérique du Sud.

L'activité se réduit alors à l'exploitation du kaolin qui n'a jamais cessé malgré les changements d'exploitant et avec pour bénéfice l'autorisation ministérielle, accordée en 1994, de poursuivre la récupération de la cassitérite associée aux masses exploitées pour le kaolin. Assurée à ciel ouvert (Photo 1), la production annuelle de kaolin est actuellement de l'ordre de 20 000 tonnes, celle des concentrés à étain, tantale et niobium avoisine les 60 tonnes.

### Une géologie remarquable

Le contexte géologique au sein duquel s'insèrent les activités minières est illustré par un extrait de la feuille géologique de Gannat (Fig. 1) où apparaissent très clairement deux entités géologiques distinctes :

- les micaschistes et gneiss de la série métamorphique dite de la Sioule caractérisée par une structuration inverse ;



Photo 1. Vue aérienne de la découverte d'Échassières - 03 (source : Imerys Ceramics France).

- les granites formant le massif d'Échassières au sein des micaschistes précédemment décrits.

Dans le détail, ce massif apparaît comme une intrusion granitique polyphasée avec :

- le granite des Colettes, massif de forme circulaire d'environ 7 km<sup>2</sup> de superficie, de type porphyroïde à 2 micas ;
- le granite de Beauvoir, sorte d'apophyse (Fig. 2) d'extension très limitée sur la bordure sud du précédent, formée d'un granite blanc (leucogranite) à albite et lépidolite, enrichi en Sn, Nb, Ta et Be.

Dans le granite de Beauvoir, le terme de « stone » s'applique au granite en tout début d'altération seulement, extrait, puis stocké à part. Il en est de même des greisens, qui ne comportent pas de feldspath, donc pas de

Extraction du kaolin	
1848	Découverte du kaolin à Échassières.
1852	Premières extractions de kaolin.
1880	Début de l'exploitation de Beauvoir (Société des Kaolins de Beauvoir - SKB).
1895	Démarrage de l'unité de traitement.
1895 – 1984	Exploitation du kaolin de Beauvoir par la société SKB (Jouhet et Barberon).
1984-1998	Reprise de l'activité kaolin par Coframines / BRGM.
1998-2005	Rachat par Denain-Anzin-Minéraux (DAM).
2005	Rachat par Imerys Ceramics France (ICF).
Recherches sur d'autres substances et travaux géologiques spécifiques	
1915-1962	Extraction de la wolframite des Montmins.
1966	Soutenance de la thèse de Guy Aubert : Les coupoles granitiques de Montebras et d'Échassières (Massif central français) et la genèse de leurs minéralisations en étain, tungstène, lithium et béryllium. Mémoire BRGM 46, 345 p.
1963-1968	Recherches du BRGM portant sur le lithium, l'étain et le béryllium.
1968-1984	Poursuite de l'évaluation (BRGM / Peñarroya).
1985	Réalisation du sondage profond d'Échassières (Géologie profonde de la France - GPF).
1991	Rejet de la prolongation du Permis d'exploitation (PEX).
2015	Octroi du permis exclusif de recherche (PER) de Beauvoir à ICF.

Tableau 1. Historique des travaux et de l'extraction des diverses substances liées aux granites des Colettes et de Beauvoir (source : Imerys).

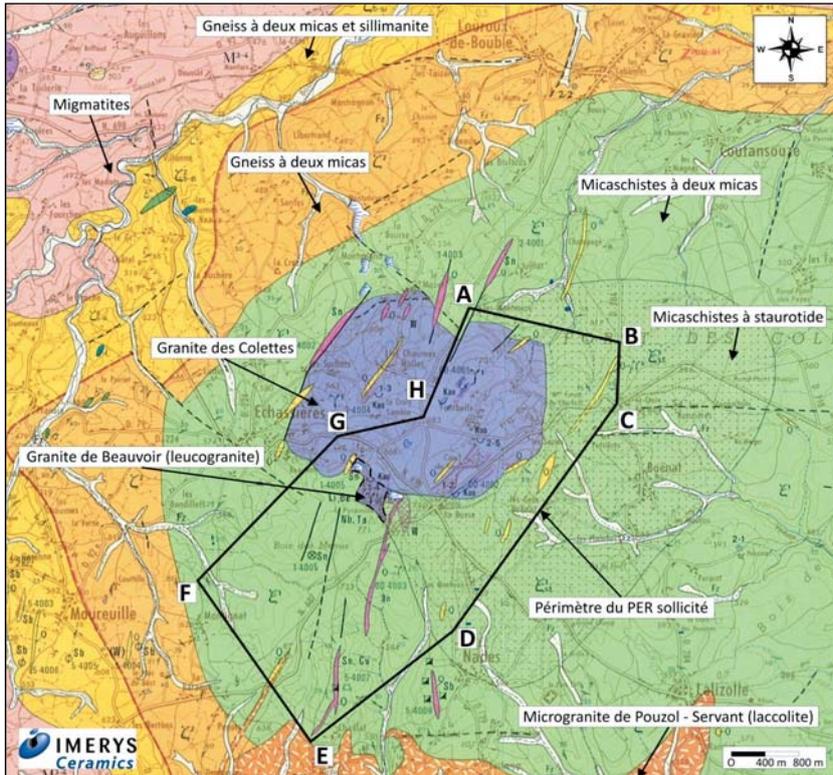


Figure 1. Carte géologique des granites d'Échassières et de leur encaissant, la série métamorphique de la Sioule. Extrait de la carte géologique à 1/50 000 de Gannat n°645, Jacques Grolier et al., 1975, avec report du polygone de délimitation du PER de Beauvoir accordé par arrêté ministériel, le 15 mai 2015.

kaolin, mais présentent un enrichissement en cassitérite et colombo-tantalite.

Une caractérisation plus fine de la pétrographie-minéralogie de ce dernier et de son extension en profondeur (Fig. 3) a été réalisée de 1983 à 1986, dans le cadre du programme Géologie Profonde de la France (GPF Thème 8 – Évolution d'un apex granitique).

Dans cet environnement géologique remarquable, les exploitations de mines et carrières apparaissent schématiquement liées à des processus magmatiques et hydrothermaux pour les concentrations métallifères et à des processus superficiels comme l'altération météorique des granites pour le kaolin avec, comme nous le verrons, une filiation typologique entre les deux.

Dans le domaine superficiel, la kaolinisation d'origine météorique affecte l'ensemble des faciès granitiques sur une soixantaine de mètres et peut atteindre 200 m de profondeur le long des fractures liées à des épisodes plus

anciens d'altération hydrothermale, responsables de la formation de veines et amas micacés de type greisens. Dans cet ensemble, les propriétés des kaolins et, par voie de conséquence, leurs domaines d'application sont en étroite relation avec la nature des granites altérés.

On distingue commercialement :

- le kaolin BIP, très blanc, bien cristallisé, formé à partir du granite de Beauvoir ; sa faible teneur en fer ( $Fe_2O_3 < 0,4\%$ ) et l'absence totale de titane en font l'unique kaolin pour porcelaine extrait sur le territoire métropolitain ;
- le kaolin BSP, de même origine que le précédent avec une augmentation de la teneur en fer ( $Fe_2O_3 : 0,6-0,8\%$ ) à proximité des zones de faille ou des enclaves schisteuses ; il est plutôt destiné au marché du carrelage ;
- le kaolin BIO avec des teneurs plus élevées en fer ( $Fe_2O_3 > 1\%$ ) et titane provient de l'altération du granite des Colettes et a pour principale application le marché du sanitaire.

Dans le domaine profond, les minéralisations à Sn, Li, Nb, Ta sont clairement liées au granite de Beauvoir et aux structures hydrothermales qui lui sont associées (greisens) comme l'illustrent les analyses minéralogiques et géochimiques comparées des

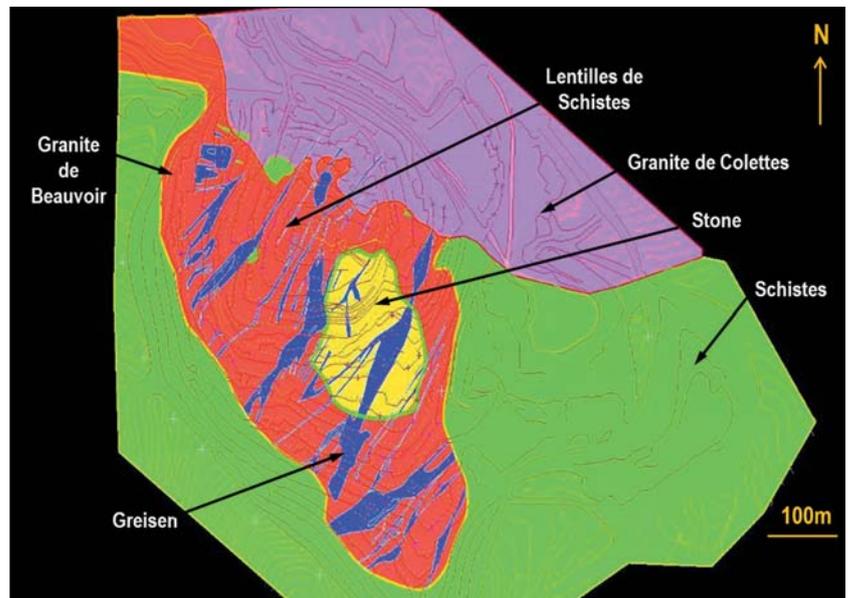


Figure 2. Contexte géologique des granites des Colette et de Beauvoir (source : Imerys).

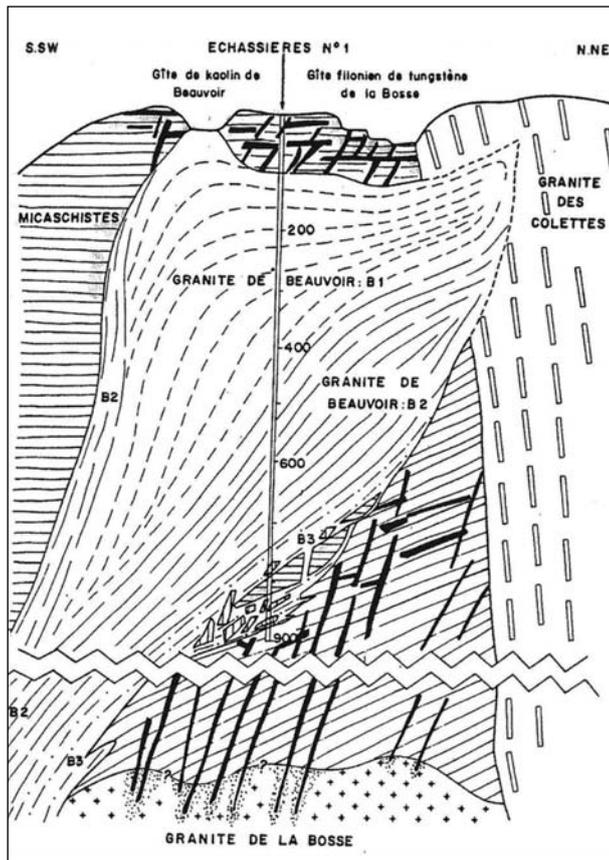


Figure 3. Coupe géologique du sondage d'Échassières (Programme Géologie Profonde de la France - GPF, 1983-1986), réalisé en 1985. Intersection du granite de Beauvoir entre 97 et 789 m et identification de 3 types de faciès distincts pour ce granite : B1) hololeucocrate blanc, B2) hololeucocrate et B3) rose. Les carottes de ce sondage sont stockées au BRGM Orléans.

granites sains et altérés des Colettes et de Beauvoir (Tabl. 2). En conséquence, la question du traitement et de la récupération de la cassitérite et autres minéraux denses ne se pose que pour le minerai kaolinique extrait du massif de Beauvoir.

### Un processus industriel adapté

L'extraction et la récupération du kaolin et des minerais associés relèvent d'approches minières sensiblement différentes lorsqu'ils proviennent de gisements distincts. On retiendra par exemple, l'indispensable sélectivité et la traçabilité dans le cas du kaolin dont il n'est pas possible de séparer industriellement les différentes qualités. Dans le cas présent, cette sélectivité permet d'isoler et de traiter séparément les kaolins BIO et BSP formés à partir du granite de Beauvoir, ceux-là même qui contiennent les substances minières valorisables.

Une fois repéré et extrait, le minerai kaolinique est

acheminé à l'unité de traitement dont l'objectif principal est la séparation granulométrique en voie humide. Les **produits valorisables** sont :

- le kaolin dans la fraction < 40µm avec des qualités BIP, BSP et BIO en fonction de la provenance du minerai ;
- les sables fins dans la fraction 100µm-1mm riches en micas lithinifères ; ils sont un excellent fondant (Félithe) pour la fabrication de laine de verre ;
- les concentrés à Sn – Ta – Nb, extraits de la fraction précédente lorsqu'elle provient du traitement de kaolin BIP ou BSP ;
- les sables grossiers dans la fraction 1-5 mm, valorisés localement dans les travaux publics.

Les **principales étapes industrielles** sont pour le **kaolin** :

- le concassage destiné à réduire la taille des blocs et à faciliter l'étape suivante de délitage en présence d'eau dans un trommel débourbeur ;
- les produits sont extraits du trommel et suivent un parcours distinct en fonction de leur granulométrie ;
- la fraction la plus grossière (5-40 mm) est séparée par criblage, la fraction plus fine (0-5 mm) est traitée à l'aide de classificateurs à râteliers pour extraire les sables grossiers (1-5 mm) ;
- la fraction 0-1 mm est traitée par hydro-cyclonage et tamisage pour la récupération du kaolin (fraction <40 µm) et des sables fins (fraction comprise entre 100 µm et 1 mm) ;
- les étapes suivantes sont : le filtre-pressage puis le séchage pour le kaolin et le séchage pour les sables fins (Félithe) après traitement par séparation gravimétrique pour enlever les minéraux lourds, considérés comme impuretés dans le cas présent ;
- les différentes qualités de kaolins sont stockées en silos avant expédition vers la clientèle.

Dans ce processus industriel, l'obtention des concentrés à Sn, Ta, Nb est réalisée par adjonction d'une unité de séparation gravimétrique, composée de spirales pour effectuer une pré-concentration, puis de tables à secousses pour extraire les concentrés. Cette unité est alimentée par la fraction 100µm-1mm en provenance de l'hydro-cyclonage des kaolins (BIP, BSP) associés au granite de Beauvoir qui portent les minéralisations à Sn, Ta, Nb.

Le concentré obtenu est composé à 60% de cassitérite (SnO<sub>2</sub>) et pour le reste de colombo-tantalite (Fe,Mn) (Nb,Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub> et de microlite (Na,Ca)<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub> avec quelques traces de quartz, topaze et lépidolite. Le concentré est commercialisé en tenant compte de l'étain et du

Minéraux	Granite Colettes		Granite Beauvoir		Greisens	Schistes
	Sain	Kaolinisé	Sain	Kaolinisé		
Quartz	30-40	30-40	15-25	17	52	
Feldspath potassique	20-35	5-25	5-15	5	1	
Feldspath sodique (albite)	20-35	0-15	40-70	24	1	
Lépidolite	-	-	10-25	17	9	
Muscovite	5-10	5-10		2	36	
Biotite	1-5	?	-	-	-	
Kaolinite	-	25-40	-	32		
Topaze			1-5	2	2 000 ppm	
Cassitérite	150 ppm		1 300 ppm		2 200 ppm	
Columbo-tantalite			250 ppm Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		1 100 ppm	
Microlite			100 ppm Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
Wolframite (W)						363 ppm W
Herdérite (Be)			219 ppm Be			
Autres phosphates	Traces	-	1	?		

Tableau 2. Minéralogie et chimie (en % et ppm) des granites sains et altérés des Colettes et de Beauvoir (source : Imerys).

tantale contenu, le niobium n'étant pas valorisé sa concentration étant trop faible. C'est, par sa composition, un concentré atypique comparé aux concentrés habituels d'étain et de tantale. En outre, la présence d'éléments radioactifs (U, Th) induit des précautions supplémentaires de commercialisation et de transport qui diminuent sa valeur marchande. Il n'en reste pas moins un produit valorisable sur des marchés internationaux dont nous sommes, pour l'essentiel de nos consommations, totalement dépendants.

## Et pour l'avenir

Le cas de l'exploitation de Beauvoir constitue un cas unique dans l'extraction minière en France, non pas tant par la mixité des substances extraites, mais principalement par la double appartenance au régime des ICPE, dont relèvent aujourd'hui les minéraux industriels exploités en carrière, en l'occurrence le kaolin, et au régime du Code minier pour les métaux connexes (Sn, Ta). Cette mixité constitue un avantage économique et il est possible que d'autres situations analogues voient le jour dans l'avenir, l'exemple de Beauvoir pouvant servir de référence.

## Des Terres Rares non chinoises ? Un avenir incertain

Alain Rollat<sup>1</sup>.

L'industrie des terres rares semble irrationnelle. En l'espace de dix ans, elle est passée de l'ombre à la lumière la plus éclatante en 2011-2012 pour retomber dans un état dépressif inquiétant depuis 3 ans. Pour tenter de comprendre cette situation, il convient d'analyser la position centrale de la Chine qui, de producteur quasi unique de matières premières, est devenu un acteur incontournable de toutes les étapes de la chaîne de valeur en relation avec le positionnement des utilisateurs finaux. Mais si la Chine est aujourd'hui incontournable, l'existence de ressources très importantes sur le continent américain, en Afrique, en Australie, mais aussi en Europe rend plausible la perspective de voir une industrie des terres rares retrouver de son éclat dans le monde occidental. La question qui se pose est de

savoir quelles sont les **conditions et les contraintes de ce renouveau**. La réponse à cette question passe par une analyse du marché et des forces et faiblesses des différents acteurs tout au long de la chaîne de valeur.

### L'évolution du marché :

Trois points principaux caractérisent l'évolution du marché des terres rares au cours des dernières années :

#### Une croissance constante qui masque un déséquilibre structurel

Le marché « des » terres rares n'existe pas ! Seul existe les marchés du lanthane, du cérium, du néodyme

1. Ingénieur à Solvay/Rare Earth Systems ; courriel : alain.rollat@eu.rhodia.com

ou du dysprosium. Or ces marchés individuels évoluent indépendamment de la distribution moyenne des terres rares dans les différents minerais. Cette situation crée un déséquilibre entre matière première et produits finis, certaines terres rares co-extraites se retrouvant en excès par rapport à leur utilisation. Si l'on compare les différentes applications utilisant des terres rares, il est indéniable que le marché qui tire la demande est celui des **aimants** et donc des trois terres rares qui sont utilisées dans cette application : le **praséodyme**, le **néodyme** et le **dysprosium**. Plusieurs auteurs ont essayé de visualiser la conséquence de cette situation en termes d'équilibre production/ utilisation pour les différentes terres rares. Même si tous n'obtiennent pas exactement les mêmes valeurs, tous s'accordent à prédire un excès important du lanthane, du cérium et de l'yttrium. Les prévisions de consommation et les hypothèses de bilan entre les différentes terres rares telles qu'elles ont été proposées par Dudley Kingsnorth sont reportées dans le tableau 1.

### Des prix fous et imprévisibles

En 2011 les médias des pays développés découvraient que des éléments chimiques, jusque-là inconnus du grand public, étaient indispensables à notre économie et plus précisément à l'industrie des hautes technologies. En quelques mois, plusieurs dizaines d'articles et de reportages mêlant données technico-scientifiques souvent approximatives et considérations géostratégiques parfois sommaires ont été diffusés en Europe et aux États-Unis sur les terres rares.

La raison de cet emballement médiatique est aujourd'hui connue : d'une part, la Chine, qui concentrait

alors 95% de la production des matières premières en terres rares, venait d'imposer une réduction très importante de ses quotas d'exportation créant de ce fait une crise dans la disponibilité de ces éléments, d'autre part, Pékin qui conteste la souveraineté du Japon sur les îles Senkaku décidait, en décembre 2010, d'utiliser l'arme économique et imposait un embargo total sur l'exportation des terres rares à destination du Japon, qui est l'un des principaux consommateurs. L'envolée des prix qui s'ensuivit est spectaculaire (Fig. 1 et 2).

Que s'est-il passé depuis ? Les utilisateurs finaux inquiets de cette situation ont, dans un premier temps, constitués des stocks amplifiant ainsi la hausse des prix et ont tenté en parallèle de mettre en place des circuits de recyclage et de favoriser la mise en exploitation de gisements hors Chine. Malheureusement les temps de ces trois actions (stocks, recyclage et nouvelles mines) ne sont pas comparables et difficilement compatibles et ce qui devait arriver arriva : la constitution des stocks a provoqué un effondrement des prix, le recyclage s'est révélé non rentable et les projets miniers ne peuvent pas être financés. L'exemple du recyclage est particulièrement intéressant notamment pour la France. Dès 2009, Solvay anticipant un risque d'approvisionnement des terres rares lourdes décide d'investir dans le recyclage des terres rares contenues dans les lampes basse consommation. Deux unités démarrent en 2012 sur les sites de Saint-Fons et de La Rochelle. **Cette réalisation industrielle, entièrement basée sur un procédé développé en interne à Solvay, est un succès technique salué par la presse et l'ensemble des acteurs de la filière.**

Malheureusement en janvier 2016, **Solvay annonce l'arrêt de ces unités** pour des raisons économiques. Quelles sont les raisons de cet arrêt ? Entre 2012 et 2016 les prix de l'europium et du terbium, les deux terres rares représentant l'essentiel de la valeur des luminophores, ont été divisés respectivement par 33 et par 6. Mais un autre

The position of EU28 in the global RE value chain			
	Situation in 2015		
	EU actors	EU production	WW production
Mining	None	0	160 kt REO
Separation	Solvay (France) Silmet (Estonia)	# 6 kt REO	160 kt REO
Metals	LCM (UK) Silmet (Estonia)	# 500t RE	#50 kt RE
Magnets	Vacuum Schmelze (Germany + Finland)	# 500 IRE	25 to 30 kt RE
Batteries NiMH	Small producers	< 100 IRE	#15 kt RE
Phosphors	Osram (Ger) LWB (Ger)	300 to 500 IREO	6 kt REO

EU 28 has a very weak position in all the RE value chain from Mining to advanced materials. But European industry is a key consumer of components containing RE, especially magnets (automotive, electronic and renewable energy industries)

1 ASTER - Solvay Spec Chem  
08/05/2016

Tableau 1. Positionnement de l'EU28 en 2015 dans la chaîne de valeur terres rares. Réf. : ANR ASTER Conférence de clôture du 23 Avril 2015.  
Légende : Magnets : aimants. RE : terres rares (Rare Earths). REO : oxydes de terres rares (Rare Earth Oxides). Batteries NiMH : batteries nickel hydrure métallique.

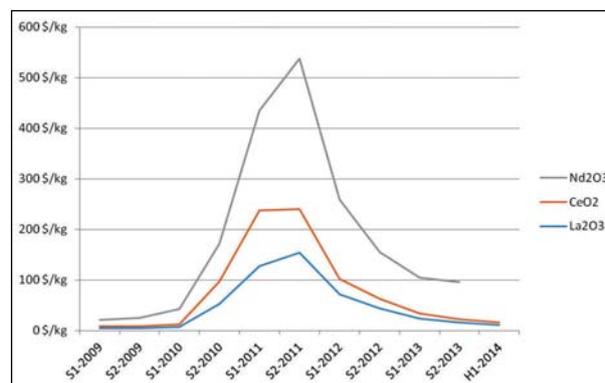


Figure 1. Évolution des prix des terres rares légères (Données Asian Metals).

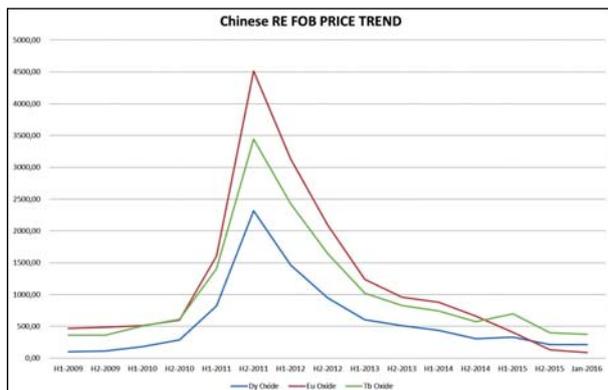


Figure 2. Évolution des prix de quelques terres rares lourdes (Données Asian Metals).

facteur a joué. Outre l'effondrement général des prix des terres rares, la pénétration des lampes à diode électroluminescente (LED), en remplacement des lampes lumineuses, a accéléré la décision de Solvay.

### Un monopole chinois qui se fissure difficilement

Bien évidemment, même si cette situation n'a pas duré, dans le contexte de spéculation de 2011, les projets miniers de terres rares trouvaient facilement à se financer et les deux des juniors minings ayant les projets les plus avancés, l'australien Lynas et l'américain Molycorp, ont pu mener à bien leur projet.

Ainsi en 2013 Lynas annonce sa première production d'oxydes de terres rares purifiées dans son usine de Kuantan en Malaisie.

Néanmoins, pour les sociétés non chinoises la situation reste très compliquée. Ainsi, Molycorp après un démarrage difficile de la mine et de l'usine métallurgique de Mountain Pass, en 2014, a dû cesser ses activités américaines en juin 2015 en raison d'une situation financière catastrophique.



Photo 1. Mine de Mount Weld (Lynas - Australie) (Collection Alain Rollat).

Lynas est dans une meilleure position. Son usine de Kuantan, approvisionnée à partir d'un concentré de monazite produit en Australie de l'Ouest sur le site de Mount Weld, a produit, en 2015, 7 883 tonnes d'oxydes de terres rares (Photos 1 et 2). À l'heure où ces lignes sont écrites, l'usine de Kuantan continue de produire oxydes de Pr et de Nd pour le marché des aimants, du carbonate de Cérium que Solvay utilise pour ses catalyseurs de post combustion automobile et de l'oxyde de lanthane destiné au marché de la catalyse de craquage pétrolier. Mais la situation de Lynas reste fragile et personne ne peut affirmer que l'usine de Kuantan sera toujours en activité dans un an.

### Les junior mining et les projets miniers existants

Si le site de suivi des projets terres rares TMR<sup>2</sup> continue de répertorier près de 60 projets, seule une petite dizaine d'entre eux peut prétendre pouvoir être financée.

L'expérience de Lynas, dont le projet a finalement coûté beaucoup plus cher qu'initialement prévu, mais surtout l'échec de Molycorp a rendu les financiers extrêmement prudents, surtout dans le contexte actuel de prix très déprimés.

On peut classer les **projets miniers** ayant des chances de succès en **2 catégories** :

- 1. les projets relativement peu chers, basés sur des minéraux dont l'exploitation est connue ;
- 2. les projets plus complexes et plus chers, mais dont les terres rares ne constituent pas la seule valeur.

Le projet le plus représentatif de la catégorie 1 est celui de Ngualla en Tanzanie porté par la société australienne Peak Resources<sup>3</sup>. Sur un plan technique le projet de Ngualla est intéressant pour 4 raisons :



Photo 2. Usine de Kuantan ; unité d'attaque du minerai (Lynas - Malaisie) (Collection Alain Rollat).

2. Technology Metals Research (TMR). <http://www.techmetalsresearch.com/metrics-indices/tmr-advanced-rare-earth-projects-index/>

3. <http://www.peakresources.com.au/irm/content/ngualla-rare-earth-project.aspx?RID=304&RedirectCount=1>

- la teneur en terres rares du gisement (4,2%) est l'une des plus élevées des projets actuels ;
- la quantité de terres rares contenues (1,7 Mt) est également l'une des plus élevées des projets actuels ;
- le minéral porteur des terres rares, la bastnaesite, a été exploité pendant de nombreuses années et son traitement est bien connu ;
- la distribution en terres rares avec près de 5% de praséodyme et plus de 16% de néodyme est particulièrement bien adaptée au marché porteur des aimants.

Aujourd'hui le projet de Peak Resources est l'un des rares à avoir une étude de faisabilité en cours, grâce au soutien d'un fond d'investissement, Appian Capital et d'une filiale de la Banque Mondiale, International Finance Corporation. La dernière valeur des dépenses d'investissement (CAPEX)<sup>4</sup> publiée par Peak Resources est de 330 millions de dollars US.

Parmi les autres projets qui entrent dans cette catégorie, on peut citer notamment Songwe Hill au Malawi, appartenant à la société Mkango et Bear Lodge aux États-Unis, appartenant à la société Rare Elements Resources.

Le seul projet vraiment représentatif de la catégorie 2 et ayant de réelles chances de succès est le projet de Dubbo en Australie porté par la société Alkane<sup>5</sup>. Le nom même de ce projet, Dubbo Zirconia Project, indique clairement que les terres rares ne sont pas les seuls éléments intéressants. En effet, elles ne représentent qu'un tiers des futurs revenus, un autre tiers étant constitué par le zirconium et le dernier tiers étant dû au hafnium et au niobium.

Par ailleurs, alors que les terres rares présentent dans les projets cités plus haut (Ngualla, Songwe Hill et Bear Lodge) sont essentiellement des terres rares légères, la composition en terres rares du gisement de Dubbo est beaucoup plus équilibrée entre terres rares légères et terres rares lourdes et, par exemple, la valorisation du dysprosium représente presque autant que celle du praséodyme et du néodyme.

Mais ce projet est à la fois beaucoup plus complexe sur un plan technique et conduit à un CAPEX nettement plus élevé, près de 1 milliard de dollars US.

Ce court aperçu des projets terres rares encore en lice n'est pas exhaustif, loin de là, mais présente les projets qui dans les conditions économiques actuelles ont le plus de chances de se réaliser.

## La position de l'Europe et de la France

Bien qu'en tant que zone géographique développée, l'Europe soit un des principaux consommateurs de produits contenant des composants à base de terres rares (automobiles, matériel électronique, éclairage, éoliennes...), sa position dans la chaîne de valeur des terres rares est extrêmement faible (voir tableau 1). Pourtant ça n'a pas toujours été le cas et, dans les années 80, avant que la Chine ne devienne le principal producteur, Rhône-Poulenc, en France, grâce à son usine de La Rochelle, était un des acteurs majeurs avec Molycorp aux États-Unis. Depuis cette période, la position de Rhône-Poulenc (puis de Rhodia et maintenant de Solvay) a évolué, d'une part en commercialisant des produits de plus en plus sophistiqués afin de garder un avantage compétitif par rapport aux produits standard mis sur le marché par la Chine et, d'autre part en mettant en place deux bases de production en Chine. Dans ce contexte, l'usine de La Rochelle a vu son cœur de compétence se déplacer de la séparation des terres rares par extraction liquide-liquide vers la formulation de composés notamment pour les applications de catalyse.

Néanmoins, comme on le voit sur le tableau 1, la France reste un des rares acteurs non chinois de la séparation des terres rares.

Cette situation est connue dans le petit monde des terres rares et la compétence particulière de Solvay, reconnue dans ce domaine. Depuis 2012, Solvay avait développé une stratégie visant à proposer aux *junior mining* de traiter leurs futurs concentrés dans son unité de La Rochelle (Photo 3) sur une base de *tolling* (travail à façon). Les *junior mining* y avaient intérêt car elles évitaient ainsi un investissement important et surtout la mise en place d'une compétence lourde et difficile à trouver. Pour l'usine de La Rochelle, c'était l'opportunité de redémarrer toute son unité de séparation et de consolider une compétence de plus en plus difficile à maintenir. Cette opportunité n'a malheureusement pas été saisie par Solvay. En effet, le management de la GBU Special Chem de Solvay, opérateur de l'usine de La Rochelle, a considéré que le redémarrage de l'ensemble de l'unité de séparation n'était pas cohérent avec sa stratégie de focalisation sur les applications et notamment la catalyse de post-combustion automobile. Cet article n'a pas pour objet d'évaluer la pertinence de cette décision, mais force est de constater que pour l'industrie des terres rares hors de Chine, l'impossibilité de bénéficier des infrastructures et de la compétence de Solvay dans le domaine de la séparation des terres rares n'est pas une bonne nouvelle.

C'est dans ce contexte qu'Alkane, l'une des *junior*

4. Capital expenditure (dépenses d'investissement).

5. <http://www.alkane.com.au/>

mining citées plus haut, a décidé récemment de faire traiter ses concentrés au Vietnam<sup>6</sup>.

Quand on parle de l'Europe, il faut également citer le projet minier de Norra Kärr. Ce projet de la société canadienne Tasman Metals concerne un gisement d'eudyalite dans le sud de la Suède. Comme tous les autres projets miniers de terres rares, après une période de développement intense dans les années 2011-2013, le projet Norra Kärr est depuis dans une phase de doute et à la recherche de financements pour continuer. Et une mauvaise nouvelle n'arrivant jamais seule, Tasman s'est vu notifier en février 2016 par la Cour administrative suprême de Suède l'annulation de sa licence d'exploitation minière<sup>7</sup>.

Bien que Tasman ait indiqué que la société possède toujours la licence d'exploration et que le projet n'est pas arrêté, cette décision dans un contexte financier difficile risque de porter un coup fatal au projet.

## Conclusions

Après l'euphorie des années 2011-2013, la mise en place d'une *supply chain* indépendante de la Chine que certains voyaient au bout du chemin n'est plus garantie. Le monopole chinois dans le domaine des matières premières terres rares a bien été écorné par Lynas, mais la survie de ce dernier est incertaine. Des projets miniers répondant aux besoins existent, mais leur financement est problématique. Et la décision de Solvay de ne pas proposer son



Photo 3 : Vue de l'unité de séparation des terres rares de l'usine Solvay de La Rochelle – Collection Solvay.

unité de La Rochelle aux *junior mining* ne leur simplifie pas la tâche. Dans ce contexte le futur est incertain. Seuls les projets basés sur des gisements simples ou dont les terres rares ne sont pas la seule valeur ont une chance de voir le jour. Mais la responsabilité appartient en grande partie aux utilisateurs finaux. En effet, si ces derniers ne veulent pas revivre la situation de 2012, lors de laquelle certains d'entre eux se sont retrouvés en pénurie de matières premières, même en acceptant de payer des prix invraisemblables, ils doivent accepter de payer le vrai prix de ces produits. **Seuls des contrats d'achats à long terme assureront aux projets leur financement.**

## Les quatre centres minéralurgiques et métallurgiques français

Christian Polak<sup>1</sup>.

La France n'abrite plus de mines métalliques mais conserve des entreprises minières et un savoir-faire en minéralurgie à travers quatre usines pilotes de préparation et de traitement de minerais, de niveau mondial.

AREVA Mines à Bessines, le BRGM à Orléans, ERAMET Research à Trappes et GeoRessources avec le Steval dans la banlieue de Nancy (Vandœuvre) représentent, dans la diversité de leurs particularités, une offre très large pour les besoins de l'industrie minière et les challenges du recyclage, mais aussi pour la valorisation des déchets et des matériaux de demain.

Chaque usine propose des installations complètes avec des équipements et un personnel conséquents,

associés à un savoir-faire historique issu d'une longue tradition minière : la création de ces unités date de 1950 pour Bessines, 1955 pour Nancy, puis 1961 pour Vandœuvre, 1972 pour Trappes et 1975 pour Orléans.

Mais l'évolution est en marche, car toutes ces structures continuent d'investir dans de nouvelles plateformes, et pas seulement pour les minerais.

Initialement dédiées à des besoins propres, elles ont toutes en commun le souhait et la volonté de se diversifier et de s'ouvrir encore plus à l'extérieur, pour mieux valoriser et développer leurs connaissances, qui s'acquièrent en permanence avec le temps et l'expérience.

6. <http://www.alkane.com.au/index.php/media-centre/news/262-20160407>

7. [http://www.tasmanmetals.com/s/NewsReleases.asp?ReportID=740335&\\_Type=News-Releases&\\_Title=Swedish-Supreme-Administrative-Court-Cancels-Norra-Karr-Mining-Lease](http://www.tasmanmetals.com/s/NewsReleases.asp?ReportID=740335&_Type=News-Releases&_Title=Swedish-Supreme-Administrative-Court-Cancels-Norra-Karr-Mining-Lease)

1. Christian Polak : Strategy, Business Development, Areva Mines, christian.polak@areva.com

### Le CIM (Centre d'innovation minière) – Centre technique d'Areva Mines, Bessines (87250, Haute Vienne) – Une plateforme unique de traitement des minerais radioactifs

Serge Rey<sup>2</sup>

#### Généralités

Situé à 40 km au nord de Limoges, le CIM d'Areva Mines est connu historiquement sous le nom de SEPA (Service d'Etude des Procédés et Analyses). Il est issu d'une longue tradition minière en France, qui a débuté avec le CEA dans les années 1950, puis Cogema et Areva.

Ses principales missions sont :

- sur des matières premières contenant de l'uranium et/ ou du thorium, mettre au point, améliorer, tester, optimiser des procédés physico-chimiques ou analytiques d'attaque, de séparation (Photo 1) pour ses clients ;
- soutenir les sites Areva Mines en exploitation via la formation du personnel, l'anticipation et l'analyse des aléas techniques ;



Photo 1. Installation d'extraction liquide-liquide au CIM (source : Areva, avril 2015).

- réaliser des prestations analytiques selon les procédures du comité français d'accréditation (COFRAC) ;
- maintenir un bon niveau d'expertise via une activité R&D soutenue en relation avec des partenaires externes.

Le traitement des minerais d'uranium dans les meilleures conditions économiques pour Areva mines, reste sa mission principale. À ce titre, il est le bailleur des procédés actuellement opérés pour Areva Mines (Niger, Canada, Kazakhstan).

Les compétences et moyens techniques du CIM sont également très souvent sollicités par les autres entités du groupe Areva, notamment la valorisation d'isotopes radioactifs comme le plomb 212 pour des applications médicales (Areva Med), ainsi que par des clients externes.

#### Organisation et description

Le CIM se compose de trois sections :

1. Laboratoire d'essais (LAB), 2. Pilote Industriel (SPI) et 3. Laboratoire d'analyse.

La **section 1** (LAB) est en charge :

- de la mise au point à petite échelle de tout procédé de traitement applicable aux minerais des différents gisements étudiés par AREVA ;
- de l'amélioration des procédés appliqués par les usines ;
- de la mise au point de tout procédé de traitement applicable à la transformation physico-chimique des matières nucléaires dans le cycle de l'uranium ;
- de la mise au point de tout procédé de traitement applicable aux minerais autres que les substances utiles à l'énergie atomique ou plus généralement à tout produit, demi-produit ou effluent pouvant relever de procédés physiques, hydro-métallurgiques ou pyrométallurgiques, du domaine de compétence du CIM ;
- de l'étude de tout nouveau procédé de traitement signalé par la littérature ou résultat de recherches propres du CIM.

La responsabilité de la **section 2** est :

- de vérifier en continu ou en discontinu et à l'échelle la mieux appropriée possible la transposition à l'échelle industrielle de ces procédés ;
- d'établir à l'occasion des pilotages de ces procédés, les données nécessaires pour la définition des ingénieries de base et de détail des usines correspondantes ;
- d'assurer, en accord avec les responsables des projets en cours d'étude, les liaisons indispensables avec les constructeurs d'équipements spécialisés et les sociétés d'ingénierie, chargées de la construction des usines ;

- de participer aux opérations de démarrage des unités industrielles afin de transmettre les procédés retenus auprès des exploitants ;
- de développer tout projet interne ou externe pouvant comporter des phases d'études d'ingénierie et de réalisation.

La section est dotée d'ateliers mécanique et électrique et d'un bureau d'études. Cette structure permet de définir, concevoir, construire des équipements et des ensembles de différentes tailles. Il est l'aboutissement des études amont de procédé, étant à l'interface avec les ingénieries en charge de définir les unités industrielles.

Il incombe à la **section 3** (laboratoire d'analyses) :

- d'effectuer toute analyse relevant du domaine de la chimie minérale ou organique sur échantillons reçus des autres sections du CIM, des sociétés du groupe AREVA ou extérieures au groupe ;
- en tant que laboratoire arbitre sur l'analyse des concentrés d'uranium, d'effectuer toute analyse contradictoire issue des usines de traitement de minerai du groupe ou hors du groupe ;
- de contrôler les méthodes et les résultats des laboratoires des usines de traitement des minerais d'uranium ;
- de perfectionner les méthodes d'analyses nécessaires à son activité. Il participe aussi aux activités de normalisation dans le domaine de l'analyse de radioéléments naturels.

Depuis 1996, le **laboratoire d'analyses** est accrédité par le Comité français d'accréditation (COFRAC), selon la norme ISO 17025.

Les chargés d'affaires, regroupés dans une quatrième section, la **Section Études Techniques**, sollicitent les ressources des trois autres sections, en fonction de l'avancement de leurs projets.

Les installations du CIM sont composées de 600 m<sup>2</sup> de bureaux, 1 500 m<sup>2</sup> laboratoires (essais et analyses), 2 100 m<sup>2</sup> de halls pilotes, 800 m<sup>2</sup> de stockage d'échantillons et 1 200 m<sup>2</sup> de stockage de matériels.

L'effectif varie entre 65 et 80 permanents, auxquels peuvent s'ajouter, durant les périodes de fortes activités, jusqu'à plusieurs dizaines d'agents extérieurs (CDD, intérimaires, personnel mis à disposition par nos clients). Les compétences majeures de ces personnels couvrent la chimie, la minéralogie, l'ingénierie des procédés avec une attention particulière au traitement des matériaux naturels radioactifs.

Le CIM est une ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement) autorisée à travailler sur des quantités relativement importantes d'uranium naturel et de thorium. Ce régime réglementaire lui permet d'être beau-

coup plus réactif aux sollicitations de ses clients que pourrait l'être une INB (Installation Nucléaire de Base). Le passage sous contrôle Euratom<sup>3</sup>, prévu en cours d'année, facilitera les échanges de matière nucléaire avec l'étranger.

## Activités

Le CIM est un des rares centres techniques au Monde à pouvoir offrir un savoir-faire et des compétences dans le domaine du traitement des minerais d'uranium par voie hydrométallurgique (Photo 2), ainsi que dans la chimie de l'uranium et du thorium.

L'objectif du Service est de proposer un ou des schémas de procédé, les plus efficaces et performants possibles pour chacune des études qu'il mène.

Les activités de R & D soutiennent le développement de la production d'uranium : R & D sur les étapes d'extraction liquide-liquide, précipitation, extraction du métal à partir de résine en pulpe..., ainsi que sur de nouveaux types de minerais : minerais de faibles teneurs, uranium en sous-produits d'autres industries minières.

L'ensemble de ces actions concourt à définir les procédés du futur, permettant des économies de réactifs, d'énergie et d'eau.



Photo 2. Test de lixiviation en colonne (source : Areva, avril 2015).

3. Euratom : Communauté Européenne de l'énergie atomique chargée de coordonner les programmes de recherche sur l'énergie nucléaire.

Le volet environnemental n'est pas oublié avec des études spécifiques sur le traitement d'effluents liquides permettant leur recyclage et l'économie d'eau, ou encore sur les résidus de traitement de minerais, leur comportement à long terme, et aussi le traitement des eaux de mines.

On notera que certaines actions R&D peuvent conduire à des développements bien au-delà du périmètre Areva Mines. À titre d'exemple, la précipitation par lit fluidisé, permettant d'obtenir une poudre de distribution granulométrique très resserrée, est très facilement transposable à l'industrie chimique.

### Conclusions

Le CIM est une entité stratégique dont le cœur de métier est la définition ou l'amélioration de procédés dans le traitement de minerais d'uranium et la chimie de l'uranium/ thorium.

Il est un des rares centres sur la planète à avoir conservé des compétences et de l'expertise dans le domaine. Son périmètre d'action va bien au-delà des activités minières. Ainsi, il est très régulièrement sollicité par d'autres entités du groupe et par des clients externes qui ont besoin de conduire des expérimentations sur de la matière nucléaire naturelle.

Le lancement prochain de la construction d'installations plus performantes, pour un montant de 33 M€, témoigne de l'importance qu'accorde le groupe Areva à cet outil de travail et à l'innovation en général (Photo 3).

## La plateforme technologique du BRGM pour le traitement des matières premières minérales et des déchets : vers une gestion efficace et durable des ressources, Orléans (45100 Loiret)

*Patrick d'Hugues<sup>4</sup>, Yannick Menard<sup>5</sup>, Solène Touze<sup>6</sup>, Catherine Crouzet<sup>7</sup>, Hervé Gaboriau<sup>8</sup>.*

### Le Contexte

Le BRGM est un acteur clé pour l'étude du cycle des matières premières minérales et des métaux. Ses travaux s'inscrivent dans une stratégie de gestion efficace et durable des ressources minérales. Ils accompagnent une mutation profonde de notre société vers une économie plus circulaire, plus efficace et plus vertueuse dans l'utilisation des ressources naturelles et dans la protection de l'environnement. Le BRGM a notamment pour vocation de développer des procédés de traitement des ressources primaires ainsi que des solutions de recyclage et de valorisation des déchets ou « matières premières secondaires ».

Les solutions technologiques étudiées s'inscrivent dans un objectif d'économie circulaire, où l'exploitation des matières premières primaires et secondaires vise à satisfaire les besoins de l'économie tout en minimisant les impacts environnementaux et les prélèvements de ressources non renouvelables. Il devient stratégique d'augmenter significativement le taux de recyclage des déchets, en alternative aux voies conventionnelles de traitement et d'élimination (production d'énergie et stockage). Pour autant, au regard des risques d'approvisionnement en métaux identifiés à l'échelle européenne, et des réflexions en cours sur le renouveau d'une activité minière en France (à travers l'initiative « Mine Responsable »), il est éga-



Photo 3. Projet du futur bâtiment CIM (source : Areva).

4. - 5. - 6. BRGM. D3E/DMP.

7. BRGM. LAB/EXP.

8. BRGM. LAB/DIR.

lement important de conserver et de valoriser des compétences spécifiques en traitement et en valorisation de matières premières minérales.

## Enjeux et Verrous

L'étude du cycle de la matière, dans une approche cycle de vie, impose d'assurer le lien entre le traitement des ressources primaires et celui des ressources secondaires :

- tout d'abord au niveau économique, car l'accès à certains métaux dans les ressources primaires n'est pas sans influence sur la rentabilité économique de certaines filières de recyclage ;
- ensuite au niveau technique, car les 2 types de traitement font face à des enjeux comparables : connaissance et gestion de « gisements » polymétalliques et de matrices complexes, gestion des impuretés pénalisantes ou polluantes, gestion des impacts environnementaux et sociétaux.

Dans une approche intégrée de la problématique du traitement de la matière et du recyclage, il conviendra aussi de tenir compte des externalités environnementales et des coûts associés (eau et énergie, émissions polluantes, stockage).

La halle pilote du BRGM (Photo 4) permet de travailler sur des verrous, communs aux gisements primaires et secondaires, et ainsi contribuer à la mise en place de solutions technologiques innovantes et durables. Les premiers verrous sont ceux liés à la caractérisation du gisement de déchets et de matières premières :

- qualité de l'échantillonnage et représentativité des échantillons testés ;
- caractérisation chimique et minéralogique de matrices complexes dans lesquelles les métaux (parfois stratégiques) sont souvent dispersés, parfois en faible quantité.

Il existe également de nombreux verrous technologiques tels que :



Photo 4. Halle pilote du BRGM à Orléans (source : BRGM).

- le traitement de matrices de plus en plus complexes (au niveau des minerais et des « objets de la mine urbaine ») ;
- la « barrière thermodynamique », la dispersion des métaux et le besoin de réduction granulométrique impliquant des dépenses énergétiques importantes ;
- la nécessaire optimisation des consommations énergétiques, la réalisation de bilans matières cohérents et la réduction des émissions vers l'environnement ;
- la limitation des déchets de production et la valorisation des sous-produits (ex : gestion et traitement de particules fines et ultrafines).

## Des moyens techniques pour des projets innovants

Le BRGM développe et expérimente des procédés innovants fondés sur des processus physiques, physico-chimiques et biologiques autour de 3 grandes filières économiques :

- une filière historique pour le BRGM, la filière mine/après mine (déchets miniers) ;
- une filière mine non métallique, de la carrière aux déchets du BTP ;
- et enfin, une filière plus récente, celle de la « mine urbaine », pour le recyclage des produits en fin de vie et la valorisation de déchets industriels.

Les principaux « gisements » étudiés sont : les minerais et concentrés (sulfures et oxydes), les déchets miniers, minéralurgiques (résidus de flottation, ...) et métallurgiques (scories, laitiers, cendres volantes, boues hydrométallurgiques), les déchets BTP (bétons de démolition...) et les déchets de la techno-sphère (DEEE<sup>9</sup>, résidus de broyage automobile...).

Les ingénieurs, chercheurs et techniciens du BRGM développent des expérimentations multi-échelles (laboratoire et pilote) en y intégrant une **dimension modélisation/simulation**. L'activité intègre également l'évaluation environnementale (dont l'analyse du cycle de vie) des nouvelles technologies, étudie leur impact sur la protection des ressources naturelles et leur intégration dans les filières industrielles existantes, ou à venir, pour une production durable. Une grande partie des expérimentations sont réalisées, sur le site du BRGM à Orléans, sur une plateforme technologique de 1 000 m<sup>2</sup> dédiée à la R&D et à l'innovation pour le traitement des minerais et des déchets. Cette plateforme, nommée Plat'inn, intègre près de 200 équipements de minéralurgie/métallurgie permettant de reproduire, à l'échelle laboratoire et pilote, les différentes opérations de préparation et de traitement de la matière<sup>10</sup>. Conduites en mode batch ou intégrés dans des

9. DEEE : Déchets d'équipements électriques et électroniques.

10. <http://www.brgm.fr/activites/laboratoires-experimentation/halle-pilote-brgm-plateforme-innovation-traitement>

Projets	Références
EXTRADE : Extraction des terres rares contenues dans les aimants permanents des déchets des équipements électriques et électroniques	<a href="http://extrade.brgm.fr/">http://extrade.brgm.fr/</a>
REMETOX : Étude du recyclage des déchets électroniques par oxydation hydrothermale	<a href="http://www.brgm.fr/actualite/concours-innovation-2030-projet-remetox-brgm-laureat-phase-2">http://www.brgm.fr/actualite/concours-innovation-2030-projet-remetox-brgm-laureat-phase-2</a>
ENVIREE : ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND EFFICIENT METHODS FOR EXTRACTION OF RARE EARTH ELEMENTS FROM SECONDARY SOURCES	<a href="http://www.enviree.eu/home/">http://www.enviree.eu/home/</a>
EcoMetals Innovative : eco-efficient bihydrometallurgy process for the recovery of strategic and rare metals: primary and secondary resources	<a href="http://www.ecometals.org/project/project-overview.html">http://www.ecometals.org/project/project-overview.html</a>
FAME : Flexible and Mobile Economic Processing Technologies on primary ore deposits with skarn, pegmatite and greisen ores	<a href="http://fame-project.eu/">http://fame-project.eu/</a>
HISER : Holistic Innovative Solutions for an Efficient Recovery of Valuable Raw Materials from Complex Construction and Demolition Waste	<a href="http://www.hisproject.eu/">http://www.hisproject.eu/</a>

Tableau 1. Projets actuels de minéralurgie au BRGM.

procédés continus, ces opérations unitaires minéralurgiques (comminution<sup>11</sup>, concentration, lixiviation) permettent de traiter différents types d'échantillons de quelques grammes à quelques dizaines de tonnes. Ce panel d'équipements permet de couvrir l'intégralité de la chaîne de traitement des minerais et des déchets : échantillonnage, comminution (concassage, broyage, fragmentation, déchiquetage), opérations d'enrichissement et de concentration (tri physique, flottation, classification). Le BRGM développe aussi des solutions métallurgiques : en hydrométallurgie (avec une compétence spécifique et reconnue en bio-hydrométallurgie), en traitements thermiques et en traitements sous-pression en atmosphère contrôlée (traitement en autoclaves).

Les principaux projets phares, mettant en œuvre les moyens de la halle pilote BRGM sont présentés dans le tableau 1. Certains projets sont également réalisés en « gré à gré » avec des industriels français et européens. Ces projets ont un caractère confidentiel.

### Un nouvel hall de pilotage en continu de procédés minéralurgiques à ERAMET Research, Trappes (78190 Yvelines)

*Malo Rousseau (auteur principal), Camille Goliath, Christophe Liny<sup>12</sup> et Pascal Lecoarer (co-auteurs)<sup>13</sup>.*

Le hall Minéralurgie d'ERAMET Research a été inauguré le 18 décembre 2015, en présence d'un public d'environ 150 personnes d'horizons variés, représentant des partenaires et clients industriels, des fournisseurs d'équipements et des enseignants-chercheurs universitaires. À cette occasion, l'ensemble du centre de Trappes a ouvert ses portes. Un parcours de visite d'ERAMET Research et d'ERAMET Ingénierie a été mis en place, incluant : les labo-

ratoires d'analyse, de caractérisation minéralogique, de pyro- et hydrométallurgie, ainsi que les halls de pilotage hydrométallurgiques, pyrométallurgiques et, bien sûr, le hall minéralurgique.

Ce hall, rénové en plusieurs phases depuis 2013, permet aujourd'hui le pilotage en continu d'équipements minéralurgiques en cascade à une capacité nominale de 2 t/h. Il est dédié à l'enrichissement de minerai et de produits issus d'activités de recyclage ou de métallurgie, en voie sèche ou en voie humide, mais permet également de préparer minerais et pulpes en vue de traitements hydro- et pyrométallurgiques. Ce nouvel outil permet de compléter le panel de solutions de pilotage d'ERAMET Research, du pré-enrichissement en minéralurgie, jusqu'à la purification métallurgique. Il s'inscrit parfaitement dans la stratégie d'ERAMET Research de diversification de ses activités.

#### Un peu d'histoire

Le bâtiment abritant aujourd'hui le hall minéralurgie existe depuis la création du centre de recherche en 1972 (ex. CRT – Métaleurop Recherche). Il était alors dédié à des opérations de concassage, broyage, criblage en batch. La principale nouveauté du hall est donc aujourd'hui de pouvoir traiter, en continu, une grande variété de produits entrants, et d'être suffisamment flexible pour s'adapter aux schémas de procédé de nos clients. La création d'une fosse a également permis le traitement de produits en voie sèche et humide et le recyclage des eaux de procédé en cours de pilotage.

#### Préparation des minerais

L'ensemble de nos équipements est relié à l'assainissement central du hall : les poussières sont collectées dans un filtre à manche permettant aux opérateurs

11. Procédés de réduction de la taille des déchets ou gravats.

12. Malo Rousseau, Camille Goliath et Christophe Liny : Département Minéralogie, Minéralurgie, Matériaux, ERAMET Research.

13. Pascal Lecoarer : Département Pilote, ERAMET Research.

postés de travailler dans des conditions d'hygiène et de sécurité optimales. Le point d'entrée du hall est une trémie d'alimentation équipée d'une grille à 80 mm. Les blocs supérieurs à 80 mm sont concassés via un concasseur à mâchoires. Dans le cas d'un traitement en voie humide, le passant à 80 mm est acheminé en continu vers un débourbeur (nettoyage et désagglomération des grains) équipé d'un trommel double enveloppe, permettant le criblage à des mailles allant de 1 à 40 mm selon les besoins (Photo 5).

Dans le cas d'un traitement en voie sèche, le passant à 80 mm est acheminé vers une boucle concassage – criblage, constituée d'un concasseur à roues dentées, dont la sortie minimale est de 6 mm, dédié principalement à la comminution de minerais collants, type minerai de Ni, et d'un crible incliné simple pont, à la maille de coupure souhaitée. Après débouillage, le minerai humide alimente également cette boucle. Ces opérations permettent de calibrer les pulpes et les minerais et de les conditionner en cuve agitée ou big-bag en vue de traitements pyro- ou hydrométallurgiques. Au terme de ces étapes de préparation du minerai, le produit généré dispose d'une granulométrie suffisamment fine pour un enrichissement minéralurgique (Fig. 1).

### Enrichissement minéralurgique

Les traitements minéralurgiques se basent sur les propriétés physiques des minéraux : taille, couleur, densité, hydrophobicité, propriétés magnétiques. En séparation densimétrique, le hall possède une spirale, pouvant traiter des pulpes < 2 mm jusqu'à 2 t/h. Pour des granulométries plus grossières, un jig<sup>14</sup> hydraulique peut être installé (exemple : traitement de minerai pauvre de Mn, de granulométrie 1-10 mm, à un débit de 0,5 t/h). Outre ces



Photo 5. Vue d'ensemble des équipements du nouvel Hall minéralurgique d'ERAMET Research (source : ERAMET).

équipements pilotes, les laboratoires de minéralurgie d'ERAMET Research possèdent une gamme complète d'outils de séparation densimétrique : 2 jigs (air pulsé et hydraulique), une table à secousses. En voie sèche, une table densimétrique est utilisée dans les activités de recyclage pour les séparations de type métal / scories.

Outre la séparation densimétrique, le hall offre la possibilité de piloter un procédé de flottation. Une large gamme de conditionneurs, cellules d'ébauchage et de relavage sont disponibles (pour des volumes de 5 à 75 L), couplés à des pompes de relevage permettant d'adapter, par écoulement gravitaire, les cellules au *flow-sheet* de flottation désiré.

Enfin, en termes de séparation magnétique, ERAMET Research dispose de séparateurs magnétiques à basse intensité à sec (1 t/h) et en humide (<10 m<sup>3</sup>/h), utilisables en continu. Davantage de possibilités de traitement, notamment haute intensité, sont envisageables via la location d'outils chez des partenaires privilégiés.

Ainsi, le hall minéralurgie possède une large gamme d'équipements de séparation minéralurgique, permettant, grâce à sa modularité, de s'adapter aux cahiers des charges de nos clients. L'avantage de conduire un pilote minéralurgie à ERAMET Research est de disposer, sur le centre de recherche, d'un laboratoire d'analyses chimiques (fluorescence X, ICP<sup>15</sup> optiques, etc.), d'outils de caractérisation minéralogique (MEB-QEMSCAN<sup>16</sup>, DRX, microsonde) ainsi que d'équipements d'échantillonnage : diviseur de big-bag et tour d'échantillonnage. La complémentarité des installations et des compétences techniques qui y sont associées permet à ERAMET Research d'assurer depuis 40 ans la qualité de ses prestations de recherche et de développement, à un haut niveau d'expertise et d'innovation.

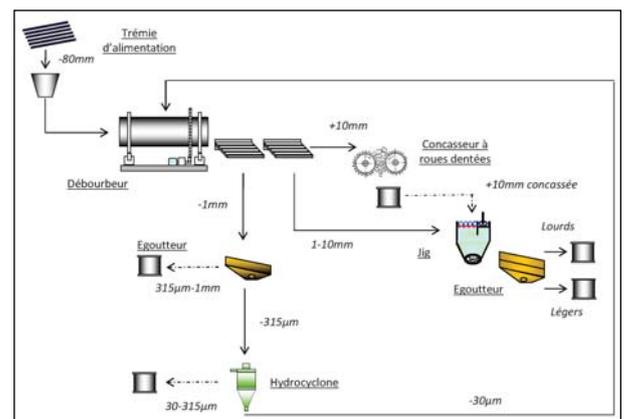


Figure 1. Flow chart de traitement (source : ERAMET).

14. Appareil permettant de séparer et concentrer les minerais par gravité ([en.m.wikipedia.org](http://en.m.wikipedia.org) le 25-05-16).

15. Inductive Coupled Plasma ou « torche » à plasma permettant de doser tous les éléments d'un minerai.

16. Quantitative Evaluation of Minerals by scanner.

## STEVAL – Une station expérimentale de valorisation des matières premières et des substances résiduares- Vandœuvre les Nancy (Meurthe et Moselle, 54500)

Lev Filippov<sup>17</sup> et Robert Joussemet<sup>18</sup>.

STEVAL (Photo 6) est un pilote industriel de génie minéral unique en milieu universitaire, au carrefour du savoir académique, de la formation de haut niveau, des problématiques industrielles et des préoccupations environnementales.

C'est un outil de transfert des résultats de recherche de l'équipe « Valorisation des ressources et des résidus » du laboratoire GeoRessources (UMR7359 UL-CNRS-Cre-gu). Il présente un plateau technique de 2 000 m<sup>2</sup> en hall d'essais (Fig. 2), en 5 niveaux, ainsi que des espaces de réception et gestion des échantillons et de stockage des matériels. Il regroupe plus de 150 équipements standards et des prototypes permettant d'étudier les opérations unitaires de la préparation et de séparation solide-solide ou solide-liquide jusqu'à l'échelle 1/1.

Les principaux enjeux sont :

- valoriser et protéger les ressources en minerais, minéraux industriels, eaux ;
- développer des procédés propres et sûrs de génie minéral ;
- faire évoluer les techniques de valorisation, de recyclage, de passivation<sup>19</sup> des matières résiduares.

Les travaux de recherche effectués au Laboratoire GeoRessources s'attachent à :

- identifier et caractériser les matières premières miné-



Photo 6. Station expérimentale STEVAL (source : Laboratoire GeoRessources).

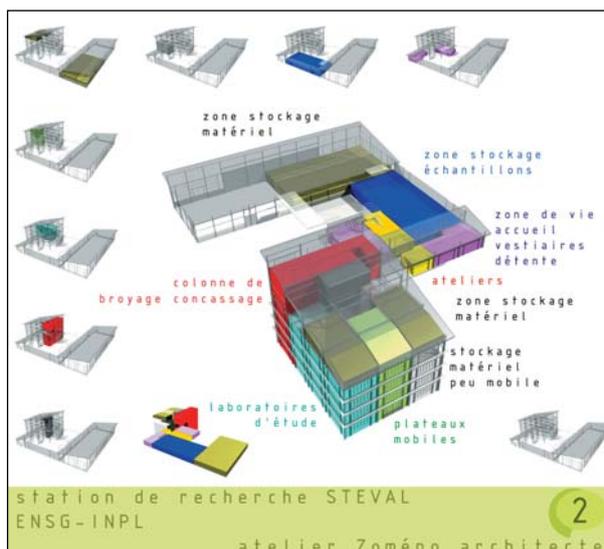


Figure 2. Plan d'ensemble synthétique du STEVAL (d'après Zoméno Architectes).

rales utilisant les moyens de nombreuses plateformes analytiques (microscopies optiques et électroniques ; spectroscopies infrarouges et Raman, diffraction des rayons X, etc.) ;

- effectuer les essais de préparation (réduction de la taille, maille de libération) et de séparation physique et



Photo 7. Exemple de concasseur-broyeur (source : STEVAL).

17. Responsable scientifique : lev.filippov@univ-lorraine.fr

18. Responsable technique : robert.joussemet@univ-lorraine.fr

19. Traitement des métaux permettant de les maintenir dans un état où leur corrosion est très ralentie.



Photo 8. Spirale en action (source : STEVAL).

physicochimique, à l'échelle laboratoire, utilisant les méthodes conventionnelles et innovantes développées par l'équipe ;

- développer les nouveaux concepts de séparation en flottation des fines particules minérales en combinant une organisation optimale des flux (concept de réacteur-séparateur) et une superposition avec un champ externe (ultrason) ;
- effectuer les essais à l'échelle pilote (20-200 kg/heure) pour valider les circuits de traitement développés.

Une rénovation intégrale en 2006-2007 a permis d'adapter l'architecture et les équipements aux nouveaux défis, créer un espace d'accueil pour des équipements lourds industriels et scientifiques, améliorer la lisibilité industrielle, scientifique et pédagogique de la station.

### Fragmentation et classification

La tour de concassage semi-industrielle (concasseur à mâchoires et à marteaux jusqu'àux 2 t/h, à cylindres, broyeur à boulets de 50-80 ou 200 kg/h et à barres) assure des granularités de l'ordre de la centaine de microns, à partir de blocs de 20 cm. Les différents broyeurs de laboratoire (Photo 7) (concasseur à mâchoires, à marteaux, à

cylindre, giratoire cranté, Forplex<sup>20</sup>...) réduisent la granularité jusqu'à 10 ou 20 micromètres. L'équipe est en voie de s'équiper avec un système de fragilisation/fragmentation par décharge électrique à haut voltage.

Les moyens de classement direct et indirect incluent aussi les cribles vibrants, tamis, hydrocyclones, classificateur à vis...

### Séparation physique

On distingue :

- les séparateurs magnétiques : séparateurs à aimants permanents basse et haute intensité (voie sèche et humide), séparateurs à électroaimant de haute intensité et haut gradient (rotor induit, séparateur Jones, séparateur à carousel) ;
- les équipements de séparation par gravité : jig, spirale (Photo 8), table à secousse humide, installation semi-continue de séparation centrifuge Falcon avec le dispositif complémentaire pour les particules fines ;
- le séparateur électrostatique.



Photo 9. Colonne de flottation (source : STEVAL).

20. Broyeur industriel de marque déposée.

### Séparation physico-chimique

L'équipement en flottation disponible permet de réaliser les essais avec des échantillons de quelques grammes en cellules laboratoires à plusieurs dizaines de kg/h en pilote. Les cellules de flottation laboratoires en batch de 0,15 à 5 L sont essentiellement employées pour définir les conditions de flottation (pH, distribution par taille, temps de flottation) et optimiser les réactifs de flottation.

Les moyens pilotes disponibles permettent de réaliser des pilotes avec des configurations de circuits complexes grâce à :

- des cellules mécaniques de 25 L, arrangées en bancs de 2 à 4 cellules, permettant de réaliser une opération de dégrossissage, jusqu'à 4 opérations de relavage et 2 opérations d'épuisage avec un débit solide de 50 à 200 kg/h. Le circuit du broyage, avec broyeurs à boulets de D=50 cm ou 100 cm fonctionnant en circuit fermé (crible, hydrocyclone, classificateur), alimente les conditionneurs avec des réactifs ;
- l'installation d'une colonne de flottation de 75 mm de

diamètre et de 6 m de hauteur (Photo 9), dont le fonctionnement est complètement automatisé. Les capteurs de pression et de débits des fluides intégrés (pulpe d'alimentation et de gaz) permettent de mesurer et de contrôler le diamètre moyen des bulles selon la hauteur de la colonne ;

- trois prototypes de nouvelles machines de flottation intensives de la famille « réacteur-séparateur » assurant un débit d'alimentation de 0,2 à 3-5 m<sup>3</sup>/h.

### Traitement des eaux de procédé : garantir des rejets propres

En fin de circuit, une station de traitement des eaux de procédés (5 m<sup>3</sup>) permet le traitement sur place des coproduits secondaires des essais, afin de rejeter des effluents aux normes réglementaires. Des études spécifiques de traitement des eaux sont également possibles. Les solides sont renvoyés aux commanditaires des études qui se chargent de leur élimination dans le respect de la réglementation.



The banner features the GEXPLORE logo in white and orange on a dark, textured background. A QR code is located in the top right corner. Below the logo, the text "Services à l'exploration minérale" is written in white. The bottom of the banner is a collage of four images: a man in a plaid shirt and safety vest examining a sample, a close-up of a hand holding a rock, a person in a blue jacket holding a rock, and a person in an orange safety vest standing on a grassy hillside.

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

## Opérateurs miniers en France métropolitaine et Outre-mer

Véronique Tournis<sup>1</sup>.

### Les acteurs institutionnels

Le Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies (CGE) est compétent, entre autres, pour l'énergie, les ressources minières et minérales et l'utilisation du sous-sol, sous l'autorité du ministre en charge de l'économie qui en assure la Présidence, Emmanuel Macron, Ministre de l'économie, de l'industrie et du numérique.

Le Bureau des ressources minérales, sous l'autorité de Rémi Galin, fait partie de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN) au Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (MEEM).

Comme l'indique le ministre E. Macron, en mars 2015 (voir les trois paragraphes qui suivent), la France a un passé minier important : ses ressources ont longtemps été puisées dans le sous-sol à proximité des lieux de consommation et le sont encore en France pour les matériaux de construction avec 4 700 carrières. La richesse géologique de la France en minéraux industriels a permis l'émergence de champions mondiaux comme Lafarge, Saint-Gobain ou Imerys.

L'activité minière traditionnelle a quasiment disparu en vingt ans : alors que l'on dénombrait encore une trentaine de mines de métaux en métropole dans les années 1990, les conditions économiques et les facilités d'approvisionnement à l'étranger, ainsi que l'épuisement de certains gisements ont progressivement conduit à la fermeture de la totalité des mines de métaux en métropole. L'extraction se poursuit outre-mer (or, en Guyane et nickel, en Nouvelle-Calédonie), et en métropole avec principalement l'extraction de sel minier sur une vingtaine de sites (Lorraine, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Aquitaine) et de bauxite à Villeveyrac et Bédarieux (Hérault). La France produit également de faibles quantités d'étain, de tantale et de niobium dans une carrière à Échassières (Allier) qui dispose d'une autorisation minière spécifique.

Le potentiel minier métropolitain reste suffisamment riche pour intéresser à nouveau les opérateurs miniers, notamment en métaux critiques comme le tungstène, le germanium, l'antimoine, le gallium.

En métropole, une quinzaine de permis d'exploration ont été délivrés ces dernières années, une autre dizaine est en cours d'instruction, dans le domaine des métaux : Variscan Mines (zones d'exploration attribuées et en cours d'instruction), Scotgold (zones d'exploration en cours

d'instruction), Cordier Mines (zones d'exploration en cours d'instruction), SudMine (zones d'exploration en cours d'instruction), COMINOR (une zone d'exploration attribuée), IMERYS (une zone d'exploration attribuée). Le groupe minier familial GARROT-CHAILLAC a par ailleurs déposé un dossier d'ouverture d'une mine de fluorine dans le Morvan.

### Les organisations professionnelles

L'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (UNICEM) regroupe les industries extractives de minéraux (granulats, pierre naturelle, minéraux industriels, craie...), et les fabricants de divers matériaux de construction (béton prêt à l'emploi, mortier, plâtre...) : 2 700 entreprises, 38 000 salariés, chiffre d'affaires de 10,5 milliards d'euros.

En 2013, l'industrie minière française compte 2 300 établissements et emploie 20 500 salariés.

L'Union nationale des producteurs de granulats (UNPG) est la composante « granulats » de l'UNICEM qui représente 900 entreprises.

L'Association Syndicale Professionnelle Minéraux Industriels - France est aussi une branche de l'UNICEM, celle des producteurs de minéraux industriels (argiles, silice, kaolin, quartz, talc, mica, feldspath, andalousite, etc.) : 15 entreprises, 2 000 salariés, chiffre d'affaires de 420 millions d'euros.

L'Alliance des Minerais, Minéraux et Métaux (A3M) résulte d'une alliance entre FEDEM (Fédération des minerais, minéraux industriels et métaux non ferreux, [www.fedem.fr/](http://www.fedem.fr/)) et FFA (Fédération Française de l'Acier) ; elle est composée de plusieurs chambres syndicales, dont celle des industries minières (CSIM).

Le Comité des Salines de France est un syndicat professionnel qui regroupe les entreprises produisant du sel en France, extrait de gisements souterrains mais aussi récolté en marais salants.

### Les opérateurs miniers présents en France et Outre-mer

Les principales exploitations (concessions) et permis exclusifs de recherche (permis d'exploration) tant en France métropolitaine qu'en Nouvelle-Calédonie et en Guyane sont regroupés dans un tableau en date du 01/01/2016 que l'on trouvera sur le site de la Société Géologique de France à l'adresse : [www.geosoc.fr](http://www.geosoc.fr).

1. [vtournis@wanadoo.fr](mailto:vtournis@wanadoo.fr) - Remerciements à Rémi Galin, Alain Liger et Jack Testard pour leur contribution à cet article.

## Le nouveau minier français vécu par la société Variscan Mines

Jack Testard, président de Variscan Mines SAS<sup>1</sup>.

À mi-2016, la société Variscan Mines détient 6 titres miniers de recherche en France métropolitaine et attend les décisions ministérielles pour deux autres demandes. Les substances recherchées sont essentiellement des métaux stratégiques associés ou pas à des métaux de base et précieux. Un seul projet (PERM Saint-Pierre (49) ne concerne que la recherche d'or (Fig. 1).

Sur les titres attribués dans l'ouest de la France et en Bretagne en particulier, les difficultés de réalisation des travaux sont inégalement réparties et nous en expliquerons notre compréhension. Les avancées techniques sont également variables. Plusieurs méthodes d'approche ont été engagées et leur réussite ou leur échec est très dépendant de la situation économique du secteur ainsi que de la sensibilité des populations à des phénomènes qu'ils connaissent ou pas.

Après avoir rappelé la stratégie que veut mettre en place la société et les nouveautés que cela implique, nous passerons en revue chacun des titres miniers en cours ou en demande et examinerons les contextes techniques, sociaux et environnementaux qui font de chacun d'eux un cas particulier. Nous tirerons de cette étude quelques conclusions générales, si tant est que cela soit possible.

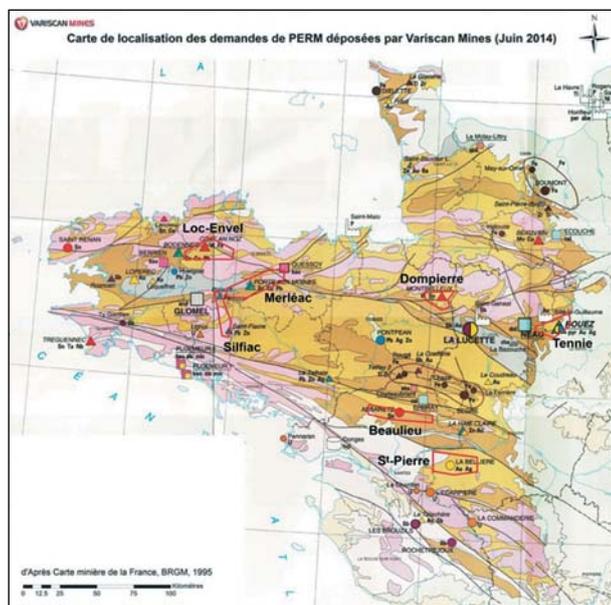


Figure 1. Carte des titres miniers de Variscan Mines octroyés ou déposés (situation à mai 2016) en Bretagne et Pays-de-Loire (source : Variscan Mines).

### L'approche globale de Variscan Mines

Variscan Mines considère que l'image, aujourd'hui négative, de la mine en France peut être restaurée si le comportement des sociétés minières est en tout point exemplaire. Cela suppose une totale transparence sur une activité très complexe, coûteuse, et menée sur le long terme. En ce sens, la communication est essentielle. L'expérience accumulée durant les 5 années de démarches administratives qui ont abouti à l'attribution des 6 titres miniers a permis d'analyser, mais aussi de subir, globalement les composantes d'un effet NIMBY (Not In My Back Yard) hautement prévisible. Nous lui préférons le terme « PUMA » (Peut-être Utile Mais Ailleurs)<sup>2</sup>.

Le **souci de l'environnement** porte essentiellement sur l'impact d'une exploitation. Pour le grand public, l'amalgame est fait entre l'exploration (le fait de chercher le gisement) et l'exploitation (le fait de produire). On notera d'ailleurs que ces deux termes, à l'orthographe voisine, sont souvent utilisés indistinctement par la presse locale, ce qui accroît encore la confusion. L'**impact social** et le **nombre d'emplois créés** sont les premières questions qui accompagnent toute réunion d'information publique. Alors même que la demande de PER a pour but de permettre une exploration pour tâcher de définir si un gisement métallifère est susceptible d'exister, il faut répondre aux questions soulevées par une mise en exploitation d'une mine qui n'existera peut-être jamais. Devant ces questions très concrètes, nous devons donc anticiper le projet minier.

Variscan Mines ne souhaite pas exploiter, et donc rechercher, des gisements de substances énergétiques comme le charbon, le lignite ou les gisements d'hydrocarbures non conventionnels. Elle ne souhaite pas non plus rechercher des gisements de fer ou de roches et minéraux industriels. Ce choix élimine donc toute exploitation à grande échelle, souvent à ciel ouvert, typique de ces substances. Les substances recherchées par Variscan Mines sont :

- les métaux de base : cuivre, plomb, zinc avec lesquels elle cherchera à valoriser des métaux critiques comme l'indium, le germanium, le cadmium ou des métaux précieux ;
- les métaux stratégiques : prioritairement le tungstène et l'étain, avec leurs accompagnateurs comme le niobium ou le tantale, ou encore le cuivre, l'or, ou le lithium ;
- l'or, dont Variscan Mines ne fait pas sa priorité, sauf à Saint-Pierre Montlimart.

1. Synthèse des travaux réalisés et publiés par l'équipe technique de la société : Michel Bonnemaïson (directeur général), Patrick Lebrat (chef géologue), Jérôme Gouin (géologue chef de projet), Anne-Sophie Audion-Serrand (géologue chef de projet), Maxime Picault (géologue), Guillaume Raoult (géologue), ainsi que Thomas Poitrenaud (étudiant thésard).

2. Formule à attribuer à Vincent Trélut d'Eramet.

Les modèles métallogéniques « porphyres cuprifères » et « gîtes aurifères épithermaux » semblant absents de la géologie française, il apparaît comme très peu probable que Variscan Mines, suite à ses travaux d'exploration, ait à envisager une exploitation à ciel ouvert de grande taille, modèle minier généralement associé à ce type de gisement. La probabilité la plus élevée est celle d'un **gisement de petite à moyenne taille**, présentant un fort développement en profondeur et donc exploitable par mine souterraine. Par définition, un gisement métallifère est un corps géologique fini, au sein duquel on définira l'exploitation (la mine).

On comprendra aisément qu'une bonne gestion de cette ressource finie implique une **exploitation optimisée**, c'est-à-dire une exploitation qui récupérera un maximum de métaux dans le gisement, ce qui permettra de prolonger la durée de vie de l'exploitation et évitera un gaspillage de la ressource. Dans un souci de développement durable d'une exploitation métallifère, il sera très important d'examiner en priorité la possibilité d'exploitations pouvant avoir une durée de vie d'au moins 20 ans. On ne proposera une exploitation sur une durée de vie de l'ordre de la dizaine d'années si, et seulement si, une exploitation plus durable n'est pas envisageable. Cette approche fera partie intégrante de la demande du PERM de la part de Variscan Mines et des sociétés qui adhéreront à ces valeurs.

Le **choix du modèle géologique** aura une incidence très forte sur le potentiel de la minéralisation, la nature de l'exploitation ainsi que sur le choix des techniques d'exploration. Variscan Mines a décidé de se focaliser sur les gisements de type « shear zones aurifères », « coupes W - Sn », « skarns à scheelite », « VMS / SEDEX<sup>3</sup> », « filons polymétalliques à Zn - Pb - Ag - Ge », car ils correspondent au type d'exploitation compatible avec ses moyens financiers et techniques et leur présence sur le territoire métropolitain est très probable. En termes de substances, Variscan Mines a choisi de focaliser son activité sur le tungstène et l'étain, les métaux de base, l'or (Fig. 2).

L'état d'**attribution des permis** est indiqué ci-après :

- indice de Coat-an-Noz (22) : PERM Loc-Envel ;
- indice de Portes-aux-Moines (22) : PERM Merléac ;
- indice de Rouez (72) : PERM Tennie ;
- ancienne mine d'Abbaretz (44) : PERM Beaulieu ;
- ancienne mine de La Bellière à St-Pierre Montlimart (49) : PERM Saint-Pierre ;
- ancienne mine de Chizeuil (71) : PERM Cressy (abandonné) ;
- ancienne mine de Salau (09) : PERM Couflens (en demande).

Choisir ensuite d'exploiter une ressource naturelle

imposera une responsabilité vis-à-vis des générations futures et la mise en place d'un comportement responsable. À ce titre, VARISCAN Mines adhère complètement aux principes développés par le « ICMM<sup>4</sup> » sur le plan international et adaptés à la « mine responsable en France », dont les engagements volontaires de l'industrie en sont la traduction concrète.

## PERM Tennie (centré sur l'indice de Rouez) : amas sulfuré de type VMS à Cu, Zn, Pb, Ag et Au, Ge, Ga, In, Cd – 205 km<sup>2</sup> – octroyé le 17/06/2013

Ce titre minier de 205 km<sup>2</sup>, le premier accordé à Variscan Mines, le 17 juin 2013, est celui où est apparue dès le début une forte opposition. Les contacts avec les mairies ont été systématiques et plusieurs réunions publiques ont rassemblé les élus locaux, les représentants de l'État, les populations et la société minière. Le passif est celui de l'ancienne concession de Chantepie, toujours détenue par TOTAL SA, héritage de la SNEAP<sup>5</sup>. Malgré une absence d'exploitation dans cette concession, celle-ci serait conservée par TOTAL jusqu'en 2038. Le projet de mine n'étant pas économique au moment des études (années 80), la SNEAP décida de laisser exploiter le chapeau de fer riche en or par une petite société minière. Celle-ci produisit, en 3 ans, 3 tonnes d'or en carrière. Les tailings furent confinés sur le terrain acheté par SNEAP et l'excavation remplie d'eau. L'ensemble clôturé est resté en l'état. TOTAL a refusé le transfert de concession et la demande de Variscan Mines de reprise des terrains et du minerai sulfuré, ce qui impliquait pour Variscan Mines le maintien d'une surveillance du site

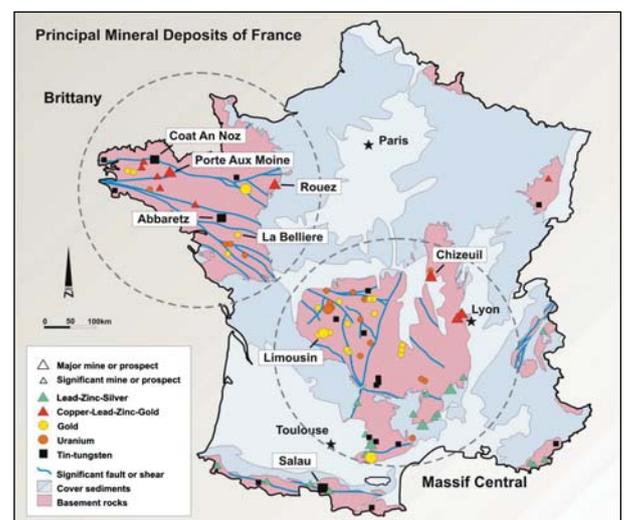


Figure 2. Carte de France des minéralisations et localisation des objectifs de Variscan Mines (source : Variscan Mines).

3. Volcanogenic Massive Sulphides (VMS) - Sédimentaires exhalatifs (SEDEX).

4. The International Council on Mining and Metals.

5. Société Nationale Elf-Aquitaine Production.

avec traitement des eaux d'exhaure tel que fixé par l'administration.

Les populations, échaudées par les promesses d'un développement durable qui ne s'est traduit que par une exploitation rapide (écrémage) et n'a laissé que des tas de déchets avec un trou d'eau se sont opposées à toute reprise d'activité avant que tout ce qu'ils considèrent comme des désordres créés par l'exploitant antérieur ne soient réparés. Reprise par des opposants dogmatiques, cette position aboutit à un blocage momentané que l'administration, la société minière et le concessionnaire n'ont pas encore surmonté.

Malgré les visites aux communes, les réunions publiques, la mise en place d'un comité de suivi et les contacts réguliers avec les représentants de l'État, les travaux de terrain sans risque tels que les levés géologiques et la géochimie sol, n'ont pu être conduits à bien, des opposants très hostiles interdisant l'accès à leur terrain, pour certains de manière brutale, amenant certains géologues de Variscan Mines à faire valoir leur droit de retrait pour des raisons de sécurité (pour information, 68 réunions locales se sont tenues entre 2012 et 2015).

La figure 3 montre que les résultats obtenus sur ces points ne permettent pas de détecter de présence significative de traces de minerai sulfuré, qui justifieraient des travaux complémentaires. L'amas principal de Rouez est impossible à travailler tant que la concession de Chantepie reste dans les mains du concessionnaire actuel. Le seul travail qui devrait être réalisé est la reprise des archives et données originales non publiées mais déposées à l'administration et leur utilisation dans une mise à jour des interprétations et des calculs économiques de la valeur de cet amas sulfuré à cuivre. À ce jour, l'accès à ces données de plus de 30 ans (donc théoriquement publiques) n'a pas été possible.

### PERM Saint-Pierre (site de l'ancienne mine de La Bellière) : Au, Ag - 386 km<sup>2</sup> - octroyé le 04/02/2014<sup>6</sup>

Le permis minier de Saint-Pierre couvre 386 km<sup>2</sup> autour de l'ancienne mine d'or de La Bellière (la 3<sup>ème</sup> plus grande mine d'or en France) qui a produit, de 1906 à 1952, 334 000 onces d'or (environ 10 t) et de l'ordre de 1 t d'argent jusqu'à une profondeur de 170 m en travaux souterrains le long d'une structure connue sur 1,6 km. La teneur moyenne de production était autour de 10 g/t dans des filons de quartz à sulfures de 1 à 16 mètres de puissance. Ces fortes teneurs étaient très inégalement réparties et le scheidage (tri manuel), la base probable de cette réussite.

Dans la région, la plupart des minéralisations sont situées dans des shears zones E-W à SW-NE qui coupent les

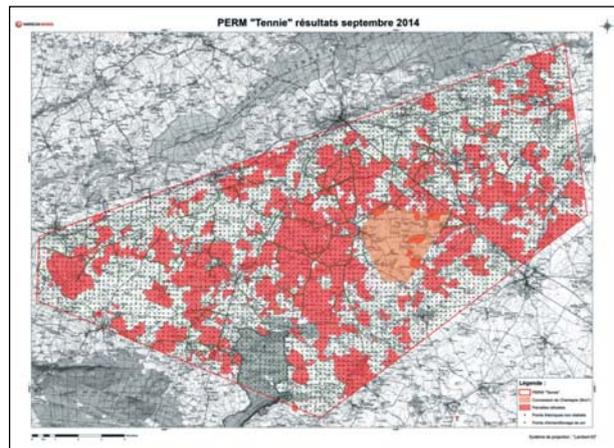


Figure 3. PERM Tennie, résultats septembre 2014 (source : Variscan Mines).

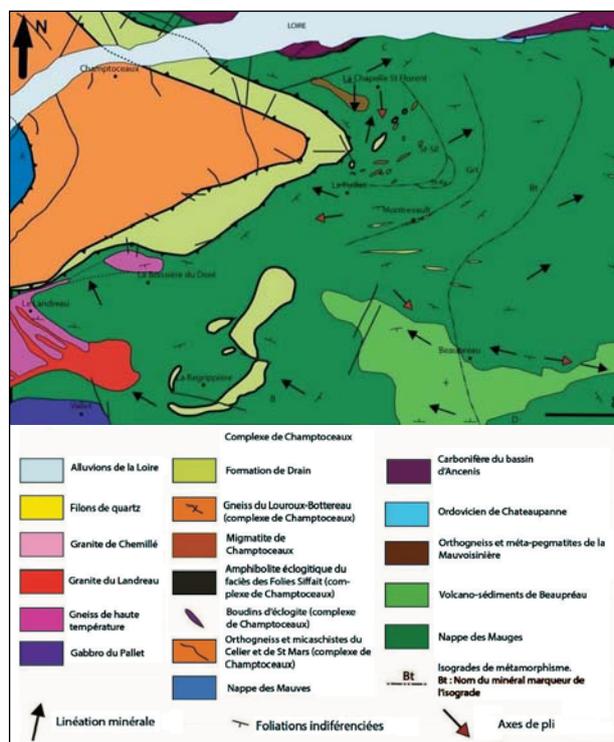


Figure 4. Schéma structural de la région autour du champ filonien de La Bellière (d'après Bidault et Cheval in Cheval, 2014).

formations légèrement pentées du Briovérien à argillites et phyllites (Fig. 4). La géologie locale est le fruit de la surrection de la chaîne varisque, épisode important de l'orogène hercynien, qui s'étend de la péninsule ibérique jusqu'à l'Oural et résulte de la collision entre les continents Gondwana et Baltica sur une très longue période de plus de 100 Ma, entre le Dévonien et l'Autunien. Le gisement de La Bellière se situe en bordure de la zone interne de l'orogène, domaine au sein duquel se sont trouvées préservées les principales reliques des sutures collisionnelles. Les shear zones aurifères apparaissent à la fin de

6. Voir aussi l'article fait avec O. Gabory, directeur du CPIE Loire-Anjou dans ce numéro.

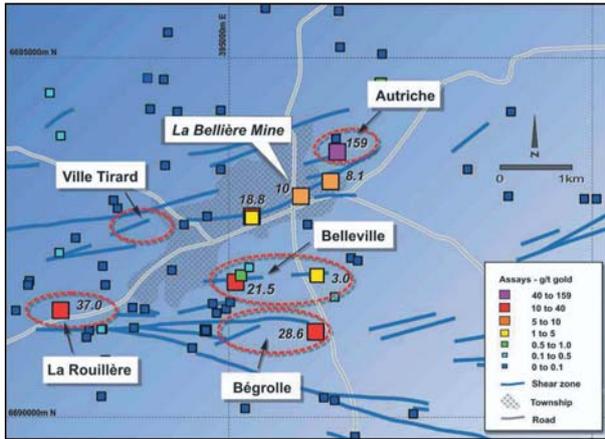


Figure 5. Principaux prospects et meilleurs résultats d'analyse or des roches sur le permis Saint-Pierre. Les chiffres indiquent des teneurs en g/t d'or (source : Variscan Mines).

l'orogène varisque (fin de la période néovarisque), entre 325 et 285 Ma. Elles sont associées à des cisaillements majeurs affectant toute la croûte continentale, déjà épaissie au cours des stades antérieurs de l'orogène.

Les travaux récents menés par Variscan Mines, essentiellement des prélèvements géochimiques et de roches, ont permis de démontrer des teneurs supérieures à 10g/t voire jusqu'à 159 g/t. En dehors de la zone principale de La Bellière *stricto sensu*, 5 secteurs ont été identifiés (Fig. 5). En amont des anciens travaux de la mine, les résultats des analyses de roches quartzzeuses soulignent des teneurs en or jusqu'à 18,8 g/t, ce qui confirme les teneurs indiquées dans les archives. Le résultat à 159 g/t provient d'une structure parallèle à celle de la Bellière, nommée La Poindasserie, à l'ouest - nord-ouest de l'ancienne mine.

Le prospect nommé **Belleville** est une structure de 1,8 km orientée Est-Ouest. Les résultats connus, incluant des tranchées réalisées par le BRGM et des sondages destructifs, définissent une zone de 1,1 km dans cette structure de 1,8 km, avec des teneurs jusqu'à 21,5 g/t et une teneur moyenne de 3,04 g/t (Fig. 6). Les échantillons de roches prélevés sur le secteur de **Bégrolle**, dans une shear zone de 2 km au sud de La Bellière, montrent des teneurs de 28,6 g/t. Une petite exploitation souterraine y a été en production sous le nom Rivière Èvre, dans les années 1910.

En extension possible vers l'ouest de ce secteur de Bégrolle, les anciens résultats obtenus à La Rouillère en tranchées et sondages descriptifs, réalisés par le BRGM dans les années 80, sont réinterprétés et confirmés par les analyses nouvelles qui atteignent 37 g/t d'or. La minéralisation est clairement associée à une brèche, oxydée en surface, à limonite, goethite, pyrite et or visible.

Sur la première zone sélectionnée, Belleville-Bégrolle, des grilles de géochimie sols ont confirmé les structures

et vont permettre de positionner les premiers sondages. Il s'agira de sondages de confirmation des structures et d'amélioration de notre connaissance de la géologie. Ils seront l'objet de déclarations et de notices d'impact comme le prévoient les textes.

Dans ce secteur, qui a vécu longtemps de la mine, les habitants regardent positivement l'arrivée de nouveaux investisseurs. Ils restent cependant prudents sur les probabilités de réussite, d'autres sociétés ayant déjà tenté leur chance sur cette zone dans les années 90. Le dialogue est donc en place, ce qui n'empêche pas les questionnements et la prudence de l'administration chargée des autorisations et de la police des mines.

### PERM Merléac (indice de Porte-aux-Moines) : amas sulfuré de type VMS à Cu, Zn, Pb, Ag et Au - 411 km<sup>2</sup> - octroyé le 03/11/2014

Entre la demande de titre déposée le 09/06/2011 et l'attribution en novembre 2014, les travaux de terrain ont pu se dérouler normalement par l'examen des résultats des observations historiques (SNEAP, Peñarroya, BRGM) et des levés et échantillonnages géologiques de Variscan Mines. Des grilles de géochimie ont été en partie réalisées pour identifier les positionnements de structures minéralisées, mais également pour établir un point zéro environnemental de surface. Toutes les contraintes environnementales connues ont été positionnées sur carte.

Durant cette période, des réunions publiques et des visites des mairies ont été réalisées, ainsi que des rencontres administratives, qui se sont concrétisées par la mise en place d'un comité d'information et de suivi des

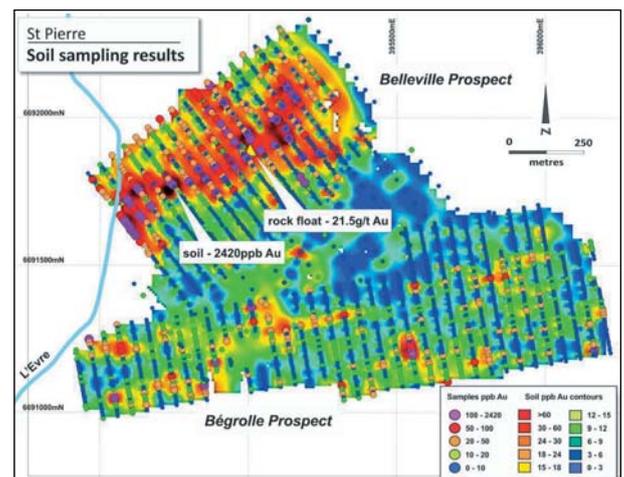


Figure 6. Anomalies géochimiques et structures minéralisées des secteurs Belleville et Bégrolle (source : Variscan Mines).



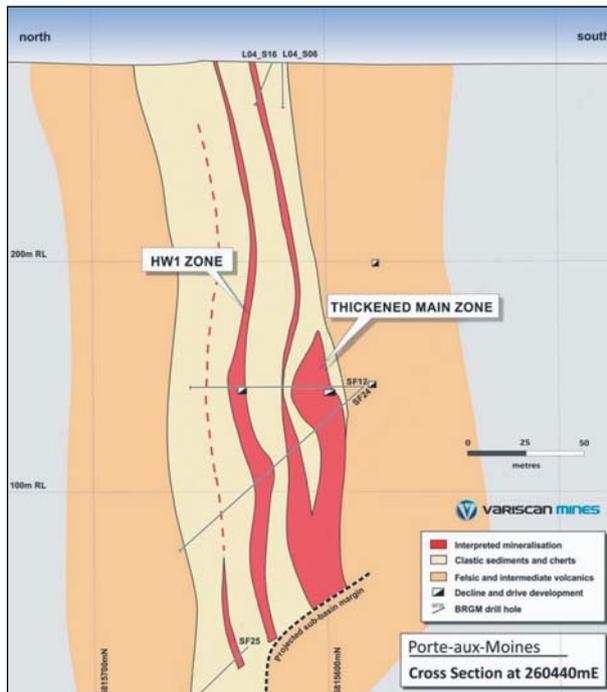


Figure 11. Coupe géologique montrant la zone minéralisée à 4% Zn équivalent<sup>7</sup> ainsi que la trace du sondage proposé (source : Variscan Mines).

sur l'impact potentiel des campagnes électromagnétiques sur les populations et l'environnement en termes d'exposition aux rayonnements électromagnétiques a été réalisée par le BRGM. Elle a démontré et conclu que ce type de levés de type HTEM<sup>8</sup> n'engendre pas de risques d'exposition des populations aux ondes électromagnétiques, du fait d'une intensité du champ électromagnétique reçu au sol de l'ordre de celle d'un fil électrique, soit près de 5 millions de fois moins qu'un téléphone portable ! Les avis de la DREAL, et d'autres services de l'État (DRAC, ARS, DOTM) et les autorisations de l'aviation civile se sont conclus par l'autorisation des travaux par le préfet. Dans les faits, le survol géophysique s'est déroulé dans une quasi-indifférence générale.

Ce projet se déroule correctement, mais des oppositions systémiques apparaissent alors que nous ne sommes encore qu'au stade des recherches et que les sondages que nous espérons réaliser en 2016 ne sont pas encore tous complètement implantés.

La communication engagée localement se poursuivra tout au long du processus de recherche et également via le comité d'information et de suivi, mis en place par la préfecture. Ce comité regroupe des représentants de l'État, des élus, des associations ainsi que des experts. Variscan Mines considère ce comité comme une instance responsable où le dialogue est possible et raisonné.

Variscan Mines, après avoir échantillonné et ré-

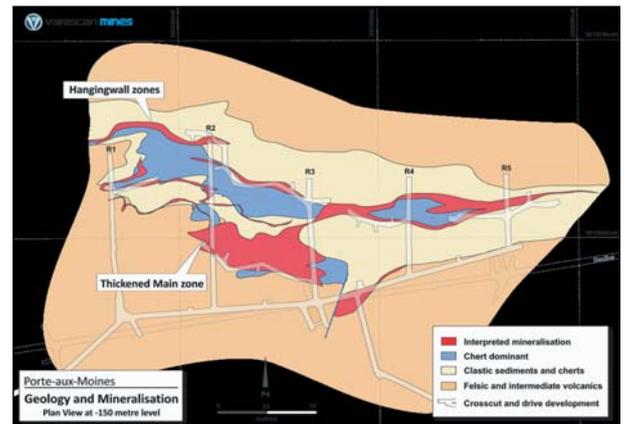


Figure 12. Vue en plan à 150 m de profondeur sous la surface avec la trace des travaux miniers du BRGM et la nouvelle interprétation (source : Variscan Mines).

analysé les 3 sondages encore disponibles au BRGM, a validé l'ensemble des données des sondages archivés. Ceci lui permet de faire les calculs de ressources du gîte de Porte-aux-Moines selon les normes internationales et qualifiées (code JORC<sup>9</sup>). Le premier résultat aboutit à un nouveau modèle géologique moins complexe que celui défini dans les années 80 par le BRGM (Fig. 13).

Afin de réaliser la campagne de sondages de 2016, il nous faudra négocier le positionnement exact de la machine avec les propriétaires du terrain, puis obtenir l'autorisation préfectorale. Le même scénario est prévu sur les principales anomalies géophysiques et les chapeaux de fer qui y sont souvent associés. Les principaux résultats sont développés dans les présentations réalisées auprès des élus municipaux, des membres du comité d'information et de suivi des travaux, dans des réunions publiques ainsi que dans le rapport annuel d'activité. Nous ne les développerons pas davantage ici.

Sur le terrain, quelques propriétaires s'opposent à l'entrée des géologues, même pour de simples observa-

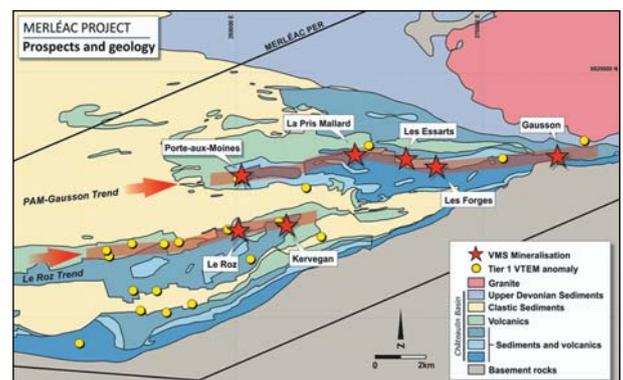


Figure 13. Principaux prospects sur le PERM de Merléac (source : Variscan Mines).

7. La teneur zinc équivalent (Zn Eq) est la somme des teneurs Zn analysées à la valeur de 1,800 US \$ par tonne de zinc, à 1 800 US\$ par tonne de plomb, à 5 600 US\$ par tonne de cuivre, à 15 US\$ l'once (env. 31.3 g) d'argent et de l'or à 1 150 US\$ l'once. La teneur en Zn Eq représente la valeur cumulée des métaux contenus exprimées en teneur métal en Zn.

8. Helicopter Time Domain Electromagnetics (lever électromagnétique hélicoptéré).

9. Joint Ore Reserves Committee.

tions géologiques. Il s'agit là d'un réel problème de droit, de gouvernance et d'intérêt général. Le code minier permet d'exiger du propriétaire qu'il laisse agir la société ayant obtenu le droit exclusif de recherche ; dans le même temps, la société se doit de respecter la propriété privée, d'éviter les désordres et, dans tous les cas, de les compenser. Le blocage de la recherche n'est pas permis dès lors que celle-ci, de par le droit minier, répond à des critères d'intérêt général qui ont justifié son attribution. On voit ici la limite de cette approche, car la définition de l'intérêt général n'a pas la même dimension selon que l'on regarde le terrain de l'habitant concerné, celui de la commune ou de la région ou de la nation. Sans être simpliste, mais à titre d'exemple, on peut dire que le niveau régional recherchera plutôt le développement économique pour le bien-être de ses habitants, alors que la stratégie nationale devra plutôt regarder la sécurité d'approvisionnement d'une substance stratégique et la solidité du tissu industriel et social. Nous retrouverons sur d'autres secteurs cette opposition que l'État se doit de gérer par la participation des parties prenantes des divers niveaux.

### PERM Beaulieu (centré sur l'ancienne mine d'Abbaretz) : coupole à Sn, W, Au, Ag, Nb, Ta, Mo, Li, In, Ge et Bi – 278 km<sup>2</sup> – octroyé le 30/04/2015

Sur le plan administratif, le permis de Beaulieu a été octroyé après que l'État eut réglé la question de la concession orpheline qui couvrait une partie de la zone concernée par la demande de Variscan Mines. Il a ainsi été mis fin à la concession orpheline de la mine d'étain dite

« concession d'Abbaretz », le 29 avril 2015, remplaçant le gisement correspondant dans la situation de gisement ouvert aux recherches. Le permis Beaulieu a alors pu être attribué, le 30 avril 2015, à Variscan Mines. L'ensemble des démarches avait débuté en décembre 2011.

Le PERM Beaulieu est une lanière étroite (9 km maximum), orientée N 100°E, couramment désignée sous le terme de synclinorium de Nozay, centrée sur des terrains du Paléozoïque inférieur percés par le leucogranite hercynien du Houx (Fig. 14). Cette lanière est coincée entre l'anticlinorium de Lanvaux au Nord et le synclinorium de Saint-Georges-sur-Loire au Sud. C'est une unité structurale à séries sédimentaires cambro-ordoviciennes, dont les flancs sont oblitérés par des accidents cisailants tardifs N 100 °E.

Le gisement d'Abbaretz est un important champ filonien quartzeux, globalement orienté N 100 °E, recoupant des formations ordoviciennes et siluriennes. Les filons sont à cassitérite dominante, porteuse de rutile et de colombo-tantalite, arsénopyrite abondante, à bismuth natif et bismuthinite, pyrite, chalcoppyrite, béryl et molybdénite rares (Chauris, 1965, 1980). Ces filons minéralisés sont spatialement et génétiquement liés au leucogranite du Houx et à ses prolongements cachés (voir figure 14). Ils résultent de la cristallisation de fluides minéralisés finimagmatiques, enrichis en Sn-As-Bi-Mo, expulsés lors de la cristallisation finale des magmas leucogranitiques.

Le site minier d'Abbaretz est approximativement le centre d'une étroite bande minéralisée qui s'étend d'Est en Ouest sur près de 30 km (Fig. 15). Les travaux de surface ont consisté essentiellement à réaliser des grilles géochimiques et des levés géologiques à partir des volantes et des affleurements en carrière. Même si le permis a été

octroyé en avril 2015, dès 2013 Variscan Mines a pris localement de nombreux contacts avec les municipalités, élus et services techniques, des sociétés industrielles locales, l'administration et des services spécialisés et/ou environnementaux pour aboutir à fin 2015 à plus de 40 réunions. Ce travail de contacts, explication de nos métiers pèse très lourd dans les budgets de la société et dans la disponibilité des ingénieurs. C'est le seul moyen pour travailler ensuite sur le terrain.

C'est une tâche assumée par la société Variscan Mines, mais qui devrait être préparée par le système éducatif et tous les services de l'État. En effet peu de personnes connaissent la mine et la

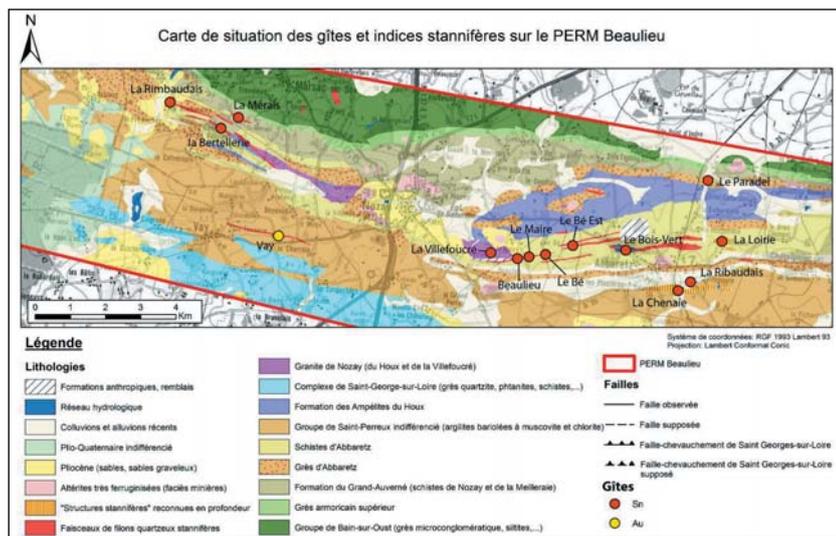


Figure 14. Carte géologique simplifiée et localisation des gîtes et indices stannifères connus - PERM Beaulieu (source : Variscan Mines).

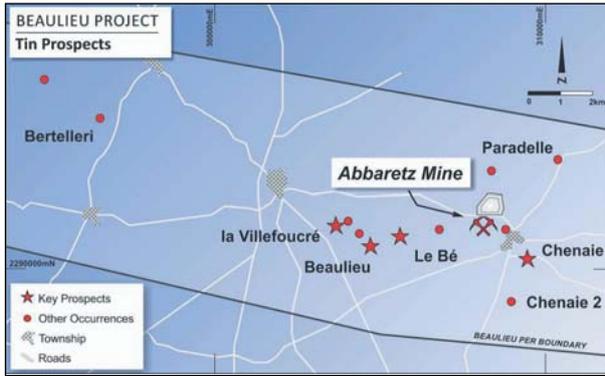


Figure 15. Prospects pour étain dans le secteur d'Abbaretz - PERM de Beaulieu (source : Variscan Mines).

prospection minière et très peu font maintenant confiance aux services de l'État en charge de ce secteur. La nécessité qui est apparue de préparer un livre blanc sur la mine responsable en est le meilleur exemple. Beaucoup d'intervenants ne traitent de cet aspect de la géologie que par le côté militant anti-mine.

Dans la région d'Abbaretz et de Nozay, la connaissance de l'ancienne mine et les explications fournies autour des anciens sites miniers participent à cette connaissance et surtout font disparaître les peurs injustifiées. Ceci n'empêche pas le maintien d'un esprit critique et curieux vis-à-vis de nos travaux, les questions posées permettant d'expliquer ce travail de recherche scientifique aboutissant à une meilleure connaissance du sous-sol.

### PERM Loc Envel (centré sur l'indice de Coat-an-Noz) : skarn à W, Cu, Mo et Pb, Zn, Ag, Sn, Nb, Ta – 336 km<sup>2</sup> – attribué le 14/09/2015

Ce permis renferme une concession dénommée Coat-an-Noz qui était détenue par Total SA jusqu'à son expiration le 12/04/2014 et est restée sans travaux depuis 1989. Des dizaines de sondages ont été réalisés dans les années 80 dans ce bois. Il est centré sur le leucogranite de Toul-Pors, un ensemble minéralisé périgranitique à W-Cu (Mo-Bi-Pb) sous forme de skarns, stockwerks et filons quartzeux qui affleurent sur plus de 2 km. L'objectif de Variscan Mines est de rechercher un halo minéralisé à Sn-W-Cu-Bi (Au ?), de plus grande importance que ce qui a été identifié dans le passé en profondeur (gisement marqué à -40 m et plus) (Fig. 16).

Parmi les travaux envisagés, la priorité est donnée aux travaux non invasifs, puisque les probabilités de nos hypothèses doivent être confirmées. Parmi ces techniques,

outre la géologie classique, sont proposés des échantillonnages géochimiques qui permettent également l'établissement d'un niveau environnemental initial. Également annoncé pour être réalisé dans une deuxième phase, un survol géophysique, du type de celui réalisé sur Merléac, a été inscrit dans les possibilités de travaux.

Une opposition systématique et très organisée se manifeste sur ce secteur. D'abord en attaquant le ministre sur sa décision d'attribution du titre minier, puis en attaquant au civil la société Variscan Mines pour mise en danger des populations par usage de la géophysique aéroportée et émission d'ondes dangereuses. Le tribunal de grande instance de Saint-Brieuc a jugé sur le fond et débouté les plaignants en leur infligeant le paiement des frais irrépétibles. Les opposants déboutés n'ont pas poursuivi en appel.

Même si les travaux en cours se limitent à une approche bibliographique et à des expertises géologiques, des pétitions circulent, interdisant l'accès des terrains par les propriétaires, alors que le droit minier confère au détenteur un droit d'étude qu'il peut appliquer dès lors qu'aucun désordre n'est commis sur le terrain concerné sans être réparé et compensé. Comme l'application de ce droit est garanti par la loi, seule une décision de justice peut le faire mettre en œuvre par obligation, ce qui aboutirait à un conflit préjudiciable à l'acceptabilité d'un futur projet et n'est plus dans l'esprit de gouvernance actuel.

Nous avons ici encore la démonstration que cette situation aboutit à une remise en cause de la notion d'intérêt général, qui est la base du code minier. Ce qui justifie la prise

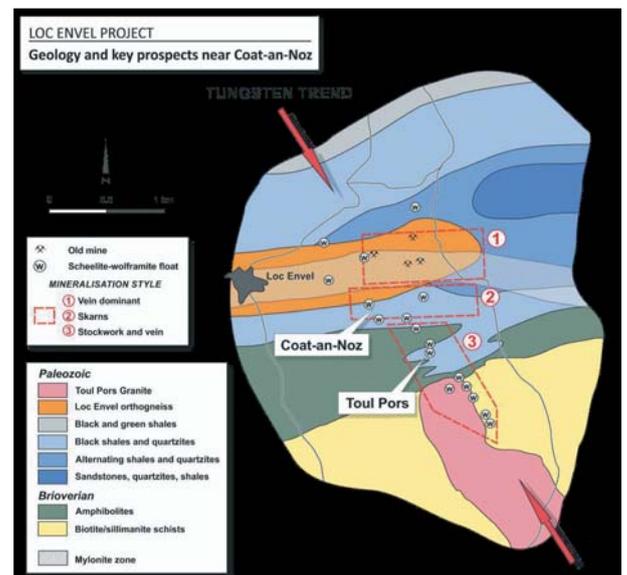


Figure 16. Géologie et principaux indices autour de Coat-an-Noz (source BRGM, revue par Variscan Mines).

de décision au niveau national peut ainsi être contesté par un niveau local, même minoritaire mais très actif. À l'inverse, une décision nationale, sans prise en compte des intérêts locaux, n'a aucune chance d'aboutir. On comprend alors que seul le dialogue peut permettre d'établir une compréhension mutuelle. Il faut, pour cela, que soient compris les enjeux, les techniques, les avantages et les inconvénients de cette recherche de développement. Il est aussi interpellant que le refus de ces travaux signifie de fait un refus de connaissance du sous-sol. De plus en plus, il apparaît que le principe de précaution est mal compris et devient le justificatif de l'absence de recherche et de connaissance.

### PERM Silfiac (centré sur l'indice de Plélauff) : filon à Zn, Pb, Cu, Ag et Au, Ge, Ga, Cd – 173 km<sup>2</sup> – attribué le 14/09/2015

Une situation identique à celle de Loc-Envel existe sur le titre de Silfiac, où des associations identiques portent le projet en justice pour en bloquer le développement. Centré sur l'ancienne exploitation de Plélauff, filon polymétallique à Pb, Zn, et Ge, ce projet a pour but de reconnaître des structures à Zn, Pb, Cu, Ag, Au, Ge, Ga, Cd et d'en trouver des extensions significatives (Fig. 17).

### PERM Couflens (centré sur l'ancienne mine de Salau) : skarn à W, Cu, Pb, Zn et Au, Ag, Ge, Bi – 42 km<sup>2</sup> – Déposé le 09/12/2014<sup>10</sup>

Fort de cette expérience la société Variscan Mines a donc adapté son approche sociétale sur le projet Couflens, qui est en cours d'instruction. Nous sommes partis

de l'expression formelle d'un besoin et avons pris des contacts localement et expliqué notre projet très en amont de la procédure. Ceci nous a amenés à prendre le risque formel d'une mise en concurrence opportuniste, mais a permis de constater la mobilisation pour la première fois en France d'une partie des habitants en faveur d'une étude du projet (ce qui ne constitue pas pour autant un soutien sans condition !). L'autre élément nouveau est la constitution, dès la demande du permis, d'une joint-venture avec la mise en place d'un financement spécifique pour la réalisation des recherches. Enfin, durant toute la période de procédure administrative, la réalisation d'une thèse permet d'améliorer les connaissances scientifiques et améliore les espoirs de réussite technique du projet.

Le projet lui-même est la reprise de l'ancienne mine de tungstène d'Anglade (Fig. 18 et 19). Il faut noter que cette mine s'est brutalement arrêtée dans le minerai le plus riche (1,6 %) alors que, dans le même temps, la mine de Mittersill en Autriche, ouverte en même temps que celle de Salau a poursuivi son activité jusqu'à ce jour. Si on examine les raisons, on constate que la société minière produisait pour l'usine en aval qui elle-même répondait aux besoins de l'industrie de montage d'engins de chantier. Ces derniers utilisent de l'acier au carbure de tungstène pour les éléments durs et résistant à l'abrasion. La capacité de production de la mine était donc réglée sur les besoins en aval de l'industrie mécanique. Lors du dumping chinois sur les prix, la mine a arrêté sa production pendant 2 ans en maintenant les capacités de production et a pu redémarrer quand les conditions économiques se sont améliorées. L'équilibre financier de l'ensemble a été porté un temps par l'usine de construction mécanique.

Sans garantir le succès d'un schéma identique, il est clair que cette voie doit être étudiée. En particulier, dans une zone où les usines ferment, la reprise de l'emploi ne

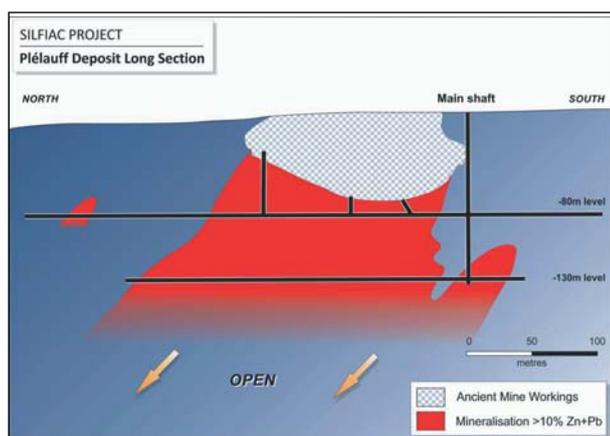


Figure 17. Profil en long du gisement de Zn Pb Ge de Plélauff (source : travaux BRGM).

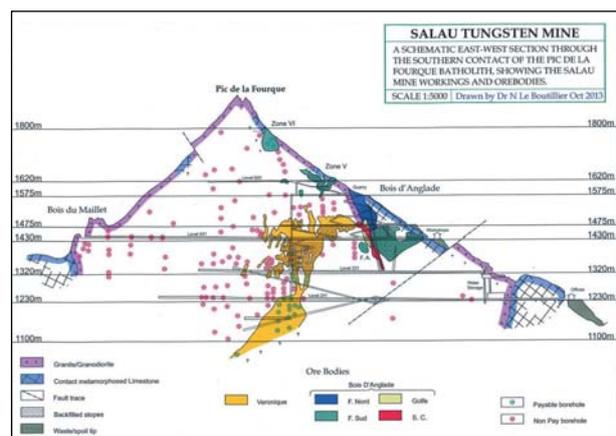


Figure 18. Coupe générale E-W du gisement de Salau (dessin N. Le Boutillier, octobre 2013).

10. Voir l'article de Jacques Soucasse dans ce numéro.

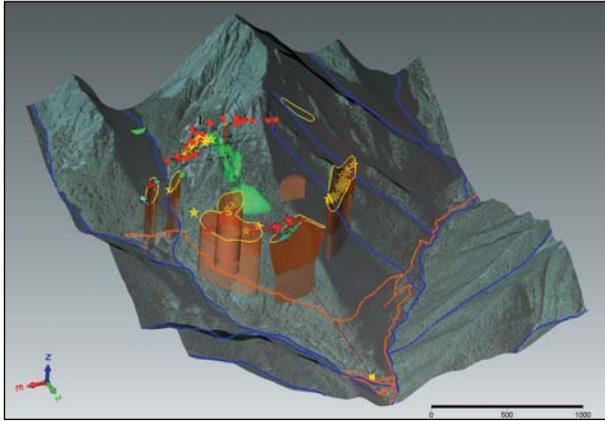


Figure 19. Bloc diagramme du gisement de Salau (source : T. Poitrenaud, 2014).

pourra passer que par une reprise de l'usine de production du métal ou de l'oxyde de tungstène. Cette intégration dans le territoire porte donc ici directement sur le succès de l'opération minière. Par ailleurs l'administration locale en charge des dossiers (DREAL) a mandaté les services compétents de l'État (en l'occurrence GEODERIS) afin qu'ils réalisent les expertises nécessaires à la justification des décisions qu'ils prendront. Ceci, sans que ne soient annoncés les résultats attendus (tierce expertise).

Venons-en à la question de l'amiante. Au moment de la fermeture de la mine d'Anglade, 7 cas d'asbestose ont été diagnostiqués chez les mineurs. Toutefois, il faut noter que cette maladie se déclenche suite à une exposition prolongée aux poussières d'amiante et que les mineurs employés dans la mine avaient déjà longuement travaillé dans d'autres mines dont certaines bien connues pour renfermer de l'amiante. Ainsi, il ne fut pas possible de déterminer à l'époque si cette maladie était liée aux travaux réalisés dans la mine d'Anglade ou si elle avait été contractée ailleurs. Il faut noter qu'au moment de l'exploitation, l'amiante n'était pas considérée comme dangereuse et que son usage domestique était quotidien (flocage contre l'incendie, ciment éverite, freins et disques d'embrayage des véhicules...).

Toutes les études minéralogiques menées sur les roches de la mine d'Anglade ont conclu à l'absence de ce minéral dont la formation est incompatible avec les conditions de pression et de température enregistrées dans la géologie locale. Bien sûr, il y a des contestataires de ces observations, jouant sur les mots et définitions des minéraux, de leur fragmentation et composition chimique, ainsi que de la fréquence de leur présence. Des normes drastiques existent pour mesurer la présence ou pas de fibres d'amiante dans l'air et la police des mines est sensible à leur application rigoureuse. Lors des travaux de

recherche, il est bien entendu évident que ce minéral sera recherché systématiquement et ces normes respectées.

Il convient aussi de souligner l'activité et la vigilance de l'association PPERMS<sup>11</sup> décrite dans ce numéro dans un article précédent.

Pour autant, n'est pas oublié l'intérêt géologique et minier de ce secteur : les premières investigations ont porté sur la reprise des données existantes et, en particulier, sur les teneurs et la répartition des zones minéralisées. La teneur de coupure utilisée, 0,8 % WO<sub>3</sub> à l'époque, correspond maintenant à un minerai riche. Les projections géologiques et les reconnaissances nouvelles de surface (dans le cadre d'une thèse scientifique) ainsi que l'intégration des observations d'époque conduisent à l'espoir de doubler les réserves sur les seules zones reconnues pendant l'exploitation. La production totale à la fermeture, en novembre 1986, aura été de 13,95 kt de WO<sub>3</sub>, à partir de 930 kt d'un minerai à 1,50 % WO<sub>3</sub>. À cette date, les réserves prouvées et probables étaient de 2,80 kt de WO<sub>3</sub>, pour 160 kt de minerai à 1,75 % WO<sub>3</sub>. La présence d'or natif est confirmée depuis par les observations minéralogiques récentes.

Le gisement de Salau est un skarn à scheelite – pyrrhotite (et or) formé au contact de l'intrusion de granodiorite de Salau et de la série carbonatée ordovicienne. Cette situation a l'avantage de mettre en contact des formations acides et basiques qui se tamponnent et neutralisent naturellement les eaux acides.

## Conclusion

L'expérience de Variscan Mines sur le territoire métropolitain témoigne des difficultés que rencontrent les pionniers ou les innovateurs : suspicion, peur des nouveautés non contrôlées, incompréhension des approches. En même temps, elle porte aussi des espoirs de développement de nouvelles manières d'exploiter des mines.

Le premier résultat obtenu est important : les espoirs d'existence de gisements sur le territoire français métropolitain sont confirmés. La présence de substances stratégiques exploitables pourrait, sans révolutionner l'économie de la France, permettre à nos industriels de consolider sur le territoire la présence d'une activité pérenne et rentable. Il s'agit de pouvoir le démontrer, donc de pouvoir travailler sur le terrain.

L'acceptation sociétale que cela suppose doit donc exister et être proportionnée aux enjeux. Pour cela, il faut des acteurs industriels, un État et des collectivités et leurs représentants motivés, des institutions compétentes et des parties prenantes locales, attentives. Or nous constatons que les niveaux de compréhension sont très variables

11. Pour le Projet d'Étude et de Recherche de la Mine de Salau. Siège : Communauté de communes du canton d'Oust, 5 chemin de Trésors, BP 12; 09140 Seix.

selon que la région concernée a vu dans le passé des projets identiques se développer ou pas et selon que ces projets ont eu ou pas des problèmes avec les populations locales. Il ne s'agit pas ici d'opposer la création d'emplois avec la protection de l'environnement, mais bien de mettre en place dans un territoire des activités durables.

À ce titre, il est remarquable de constater que les ressources minérales ne sont que très rarement mentionnées dans les plans de développement régionaux, que ce soit pour décider de ne pas les utiliser ou au contraire de les valoriser. Même pour les schémas des carrières, qui existent pourtant depuis plusieurs décennies, la solution est souvent d'affirmer que les régions voisines viendront suppléer aux besoins exprimés. Pour les métaux, dont l'utilisation peut être hors région d'extraction, la problématique est encore plus prégnante.

Les lois et règlements nationaux en place sont complexes, mais devraient permettre de démarrer la reprise des activités minières en France. La problématique minière, oubliée depuis des décennies dans une partie importante de l'administration, implique que des agents publics se forment à nouveau sur cette thématique : c'est chose faite dans certains régions. L'attente du nouveau code minier pourrait simplifier la compréhension de ces activités en homogénéisant les règles issues du code de l'environnement et celle du droit minier. Surtout, elle permettrait de présenter aux populations une stratégie minière justifiée et expliquée.

En même temps, les parties prenantes souhaitent prendre le temps avant de voir les actions de terrain démarrer. À l'inverse, les industriels ne peuvent attendre indéfiniment que des décisions soient prises. La gestion des délais restent donc le point le plus sensible pour les industriels. C'est là que les institutions ont un rôle de formation, d'explication et de conviction essentiels : les sujets miniers et de valorisation des ressources minérales, pourtant nécessaires à notre vie quotidienne, sont méconnus et peu expliqués.

Heureusement des possibilités de dialogue existent dès que sont identifiés des organisations ou des groupes décidés à examiner les possibilités offertes. La mise en place de comités de suivi des projets, sous l'égide des préfets, est un des progrès anticipant le renouveau du code minier, mais appliquant déjà les obligations du code de l'environnement.

Enfin, le rapprochement des besoins exprimés en substances avec les capacités à les produire reste la justification principale à la reprise d'une activité minière durable et responsable. Le livre blanc de la mine responsable et les engagements volontaires des industriels du

secteur, garantis et contrôlés par l'État, en sont les témoignages les plus récents.

### Références

- Audion-Serrand A.-S., Bonnemaïson M., Gouin J., Lebret P., Pareux C., Picault M., Raoult G., Richard C., Testard J., 2016. Merléac : Rapport d'activité 2015. PERM de Merléac, Rapport Variscan Mines n° VM-00046, 144 p.
- Bonnemaïson M., Audion A.-S., Brusseau H., Cheval-Garabedian F., Gouin J., Larrère M., Lebret P., Mamias G., Picault M., Raoult G., Testard J., 2016. Beaulieu : Rapport d'activité 2015. PERM de Beaulieu. Rapport Variscan Mines n° VM-00044, 104 p.
- Bonnemaïson M., Audion A.-S., Gouin J., Lebret P., Picault M., Raoult G., Testard J., 2015. Tennie : rapport d'activité 2015. PERM de Tennie, Rapport Variscan Mines n° VM-00040, 65 p.
- Chauris L., 1965. Les minéralisations pneumatolytiques du Massif armoricain. Mémoires du BRGM 31, 220 p.
- Chauris L., 1980. Les gisements d'Abbaretz et de Saint-Renan (Massif armoricain). 26<sup>ème</sup> CGI, Paris, fascicule E1.
- Cheval-Garabedian F., 2014. Étude géologique du champ filonien de la Bellière et de son encaissant (nappe des Mauges). Rapport de Master OSUC, Orléans, VM-00021.108 p.
- Gouin J., Audion A.-S., Bonnemaïson M., Cheval-Garabedian F., Lebret P., Monge Q., Picault M., Raoult G., Testard J., 2016. Saint-Pierre : Rapport d'activité 2015. PERM de Saint-Pierre. Rapport Variscan Mines n° VM-00045.118 p.
- Le Boutillier N., 2016. The exploration of the Beaulieu tin district licence area, Loire-Atlantique, France : a filed visit report. Rapport Variscan mines VM-00043C, 69-122.
- Maund N., Audion A.-S., 2016. A field review of the airborne V-TEM targets. Rapport Variscan Mines n° VM-00047C, 73-116.
- Poitrenaud T., 2014. Modélisation 3D du gisement de tungstène de Salau. Rapport de master OSUC, Orléans VM-00018, 124 p.
- Site web Variscan Mines Limited. Lien vers annonces ASX : [www.variscan.com.au/index.php/investors/announcements](http://www.variscan.com.au/index.php/investors/announcements)

**« Après la rédaction de cet article une bombe a été déposée et a explosé la nuit du 23 au 24 mai 2016 devant le siège de la société Variscan Mines SAS à Orléans - La-Source sur le campus universitaire. Cette bombe n'a heureusement fait aucun blessé. Revendiquée par un groupuscule breton dans un tract très agressif et violent, cette attaque nous a amené à porter plainte pour violence, incitation à la haine et mise en danger d'autrui. De nombreux témoignages de soutien et de colère contre cet acte nous sont parvenus. En l'état, cette action ne justifie pas une modification de l'article tel qu'il est rédigé et ne modifie pas la politique de la société dans son engagement responsable. Une attention toute particulière a été portée au bien être des salariés fortement affectés par cette expression de violence ».**

## La stratégie de SUDMINE : la mine raisonnée en France – l'exemple du projet d'exploration de Kanbo (64)

Christian Vallier<sup>1</sup>.

### Généralités

SUDMINE est une jeune entreprise française qui a l'ambition de **participer activement à une renaissance de la mine en France**, selon un modèle encore très nouveau dans le monde, essentiellement participatif, raisonné, respectueux de l'environnement, des populations et du patrimoine, et moteur d'un développement d'activités liées et ancrées localement. Elle est ainsi la 1<sup>ère</sup> compagnie minière à afficher, parmi ses 36 actionnaires, et en plus des géologues et autres exploitants miniers, une demi-douzaine d'environnementalistes expérimentés et surtout le 1<sup>er</sup> bureau d'études en environnement de l'industrie minière en France : GéoPlusEnvironnement.

SUDMINE propose de bouleverser, voire de révolutionner, les codes habituels de l'activité minière, de la faire entrer dans le XXI<sup>e</sup> siècle en prenant comme préoccupations de base autant l'environnement, le patrimoine, le développement local et le partage, que la faisabilité technique et économique du projet minier lui-même. C'est d'ailleurs sur ce thème qu'a porté la 1<sup>ère</sup> Convention qui s'est tenue le 29 mai 2015 à la Société Géologique de France (SGF) « Pour une approche durable française de la Mine » dont le programme des exposés est rappelé dans la figure 1.

C'est en mettant en avant ce savoir-faire reconnu et cette approche originale que SUDMINE souhaite, entre autres projets :

- **innover** en étudiant le potentiel aurifère des environs de Cambo les Bains (64) ;
- **réétudier** la faisabilité technico-économique d'une exploitation minière pour Au, Ag, Sb et Cu du gisement « filonien » de **Lopérec** (29) ;
- explorer la possibilité de valoriser le « **coltan** » (Ta et Nb) présent au sud de **Kourou** en Guyane française, en dehors des circuits des « minerais du sang » de RDC...

Dans cet article, ne sera développé que le projet d'exploration de Kanbo au Pays Basque français, qui illustre une grande partie de la philosophie de SUDMINE.

### Kanbo : un projet minier novateur, ambitieux et multi-facettes

#### Le patrimoine archéologique minier

Le Pays Basque, parmi de très nombreuses richesses humaines et naturelles, recèle un **patrimoine historique et minier important**, méconnu, aujourd'hui très peu valorisé, voire menacé, notamment par l'urbanisation. En effet, il y a plusieurs milliers d'années (probablement du temps des Tarbelles puis, peut-être, des Romains), de très nombreuses exploitations d'or occupaient le piémont basque des Pyrénées. Elles ont ensuite été totalement oubliées, jusqu'à se fondre intégralement dans le paysage. C'est bien la meilleure preuve qu'une telle activité minière, même de très grande ampleur comme cela a été le cas à l'époque, peut très bien se dérouler sans laisser de stigmates dommageables pour l'environnement !

**1<sup>ère</sup> CONVENTION**  
**« Pour une approche durable française de la Mine »**  
 (économique, sociale/participative et environnementale)  
 29 mai 2015  
**Programme**

**13 h 00 :** Accueil des invités dans la salle Ami Boué de la SGF

**13 h 30 :** Conférences courtes (10 mn) et ciblées

**1<sup>er</sup> volet : "Durable : Économie / Technique"**  
 C1 : Michel PICHAVANT (CNRS-ISTO) : "Les métaux stratégiques"  
 C2 : Ollie OSTENSSON (consultant international) : "Les petites compagnies minières dans le monde"

**2<sup>ème</sup> volet : "Durable : Social / Participatif"**  
 C3 : Crowdfunder : "Le financement participatif local et régional"  
 C4 : Stéphane CHEVREL (BRGM) : "Le Ppermis social d'exploiter"

**3<sup>ème</sup> volet : "Durable : Environnement"**  
 C5 : GEO+ : "Synergie et allouts d'un actionnaire environnementaliste"

**4<sup>ème</sup> volet : "Durable : Responsable"**  
 C6 : Rémi GALIN (DGALN, Ministère de l'Environnement) : "La Mine Responsable"

**5<sup>ème</sup> volet : "Made in France"**  
 C7 : Michel CUNY (CNRS, Laboratoire GéoRessources, Université de Lorraine) : "Pertinence de rechercher de l'U en France"  
 C8 : Guillaume BERTRAND (BRGM) : "Les 'gisements' de 'stériles' miniers en France"  
 C9 : MINIER Holding : "Le savoir-faire des carrières françaises utile à la mine"

**16 h 15 :** Ateliers d'échanges en parallèle (avec un rendu pré-établi attendu) :  
 A1 : "Les métaux rares" animé par Michel CUNY  
 A2 : "Les stocks de stériles miniers en France : valorisables? Opportunité de dépollution?" animé par Laetitia BARRIER  
 A3 : "Acceptabilité des projets miniers en France" animé par Hugues BERBEY  
 A4 : "Financement des projets miniers" animé par Thierry FEVRE  
 A5 : "Structuration en holding ?" animé par Laurent DUPARC et Benoit GIROUSSE  
 A6 : "Orpillage" animé par Justo TORRES  
 A7 : Atelier à accès réservé : "Lopérec" animé par Michael LALOUA  
 A8 : atelier à accès réservé : "Ratamina" animé par Emmanuel GAUTIER  
 A9 : atelier à accès réservé : "Pyrénées" animé par Didier BEZIAT

**17 h 45 :** Mise en commun des principaux résultats des ateliers

**18 h 15 :** Synthèse

**18 h 30 :** Clôture

**NB1 :** les "interventions" de 10 mn serviront à donner des bases, des informations pour introduire les ateliers qui suivent et qui vont permettre d'engager un débat d'idées et de connaissances et d'aboutir à un résultat concret et applicable.

**SUDMINE**  
 SUDMINE SAS 2, Chemin du Château 45 530 SEICHEBRIERES FRANCE  
 Tél : (00 33) (0)6 88 16 76 78 Fax : (00 33) (0)2 38 24 85 66  
 e-mail : sudmine@sudmine.com  
 SAS au capital de 227 000 euros - RCS Orléans 790 856 850 - Code NAF 0990Z

Figure 1. Programme des exposés de la 1<sup>ère</sup> Convention SUDMINE qui s'est tenue à la SGF le 29 mai 2015 et dont le titre était « Pour une approche durable française de la Mine » (document SUDMINE).

1. Président de SUDMINE. Voir indications dans la rubrique « Contacts et informations ».



Photo 1. Prospection par batée (cliché SUDMINE).

Récemment, des **archéologues** ont redécouvert les traces de ce passé lointain et glorieux. Des programmes de recherche du CNRS et de l'Université de Toulouse tentent d'en inventorier les vestiges et d'en reconstituer la technique et l'histoire. Un des associés de SUDMINE, géologue, d'ascendance basque, a eu la chance de vivre de près cette « redécouverte ». Depuis son enfance, il a arpenté et testé ce piémont de long en large (Photo 1), et en a acquis la conviction que ce sujet mérite une campagne de prospection sérieuse, organisée et objective.

Logiquement, SUDMINE, avec son approche originale décrite ci-dessus, propose donc de regarder de plus près ce patrimoine géologique, minier et historique pour voir si une **activité économiquement viable** pourrait être imaginée localement, tout en respectant son environnement au sens large. Les Anciens ont-ils entièrement exploité la ressource ? Y a-t-il encore, entre les anciennes exploitations, un gisement d'or que les nombreuses et légitimes contraintes environnementales, historiques et humaines laisseraient considérer comme exploitable ? Si un tel gisement existe, serait-il économiquement viable ? Serait-il acceptable par les riverains ? Comment le partager ? Comment l'exploiter sans impact ?

Et avant tout, comment faire coexister ces recherches minières avec les recherches historiques et archéologiques, voire avec la préservation de ce patrimoine ?

Pour aider à répondre à ces questions, SUDMINE pourra apporter ses moyens d'exploration et de reconnaissance (analyse stéréoscopique des photos aériennes, approche géomorphologique, repérages de terrain, etc.)

aux archéologues en charge de ces études. SUDMINE pourra aussi participer financièrement à des programmes officiels de recherches archéologiques ou de préservation de vestiges sur ce secteur. Et, bien sûr, SUDMINE mettra tout en œuvre pour essayer de favoriser, en parallèle du projet minier, l'émergence d'une autre activité économique (pédagogique, de loisir et/ou touristique), durable, valorisant ainsi doublement ce patrimoine.

### La procédure administrative

Comme prévu par la loi pour ce type d'activité, SUDMINE a déposé, le 28 novembre 2014, au Ministère des Mines une Demande administrative de **Permis exclusif de recherche (PER) pour or** sur une zone de 126 km<sup>2</sup>, pour avoir le droit officiel d'étudier le sujet pendant 3 ans. La surface est grande et s'étale sur 11 communes du Pays Basque, afin de couvrir une grande partie du piémont où se trouvent ces couches superficielles de galets ayant contenu de fines paillettes d'or libre, et se donner le plus de chances possibles d'espérer trouver un gisement encore existant, présentant des conditions environnementales, foncières, agricoles, sociales et patrimoniales favorables.

La notice d'impact (Fig. 2) accompagnant cette demande a été réalisée naturellement par GéoPlus Environnement, puisque cela constitue le point fort de SUDMINE que d'avoir des environnementalistes expérimentés dans ses rangs. Et aussi parce que SUDMINE met en avant ces compétences reconnues et s'appuie dessus le plus en amont possible. Ainsi, SUDMINE connaît, le plus tôt possible, l'ensemble des sensibilités, des contraintes et des servitudes s'appliquant au territoire d'étude. Et pourra ainsi d'autant mieux les anticiper et les préserver.

GéoPlusEnvironnement a réalisé cette notice d'impact en toute objectivité, à la fois dans son propre intérêt de société de service sur un marché très surveillé et très concurrentiel où une bonne réputation est très vite ternie par une attitude partielle, dans l'intérêt de SUDMINE qui attend une décision favorable de l'Administration, et aussi et surtout dans l'intérêt du projet minier lui-même, qui ne pourra être accepté que si la prise en compte de l'environnement est la plus objective et exhaustive possible. Dans ce cas, GéoPlusEnvironnement n'est pas « juge et partie », c'est l'Administration qui « juge ». L'instruction de cette demande est en cours.

Si ce PER est accordé à SUDMINE, et si un gisement exploitable est trouvé, dans les conditions décrites ci-dessus, alors SUDMINE devra demander :

- un titre minier d'exploitation (concession), incluant un dossier et une instruction très lourds ;
- une Autorisation d'ouverture de travaux miniers (AOTM),

Demande de Permis Exclusif de Recherches de Mines de « KANBO »  
Tome III : Notice d'Impact Environnemental

<b>SYNTHESE DES SENSIBILITES, CONTRAINTES ET SERVITUDES</b>			
Catégories	Thème	Commentaires	Sensibilité
Environnement Naturel	Sol et sous-sols	Formations géologiques variées, +/- sensibles aux pollutions de surface Occurrences de cavités souterraines et de glissements de terrains dans le PERM	**
	Eaux souterraines	Flyschs (aquifère médiocre) et formations cristallines et sédimentaires semi-perméables à imperméables. Nappes alluviales	**
	Eaux superficielles	Réseau hydrographique très dense, zones inondables, PPRi sur la Nive et la Nivelles Qualité des eaux moyenne à bonne, Nive et Nivelles de 1 <sup>ère</sup> catégorie piscicole	***
	Milieux Naturels	3 ZNIEFF de type I, 5 ZNIEFF de type II, 4 ZPS	***
Environnement Humain	Paysage	Paysages variés et typiques du Pays Basque 2 sites classés et 3 sites inscrits	**/***
	Population	11 communes recoupées par le PERM, 30 448 habitants potentiellement concernés	**
	Gestion de la ressource en eau	6 captages AEP dans le PERM qui est en grande partie couvert par des périmètres de protection éloignée 1 SAGE et 2 Contrats de Rivières sur le PERM	***
	Activités	Agriculture/tourisme, présence de carrières	*
	Patrimoine culturel	22 monuments historiques dans le PERM	***
	Voies de circulation	Routes départementales et routes communales	0
	Qualités de l'air	Air ambiant de bonne qualité	*
	Bruit	Peu de bruit, provenant en majorité des routes.	*
Contraintes et Servitudes	Vibrations	Pas de sensibilité particulière	0
	Urbanisme	9 PLU, 1 POS et 1 carte communale sur les 11 communes	0
	Risques majeurs	Risques inondations et cavités souterraines, PPRi sur Ainhoa, Saint-Pée-sur-Nivelle et Sare	**
	AOC	AOC Piment d'Espelette et Ossau Iraty	**
	Code Forestier	Pas de défrichement prévu pour l'exploration	
Servitudes d'utilité publiques et techniques	Servitudes d'utilité publiques et techniques	Réseaux et canalisations à contrôler	**

Légende	
0	Indifférent
*	Légèrement sensible
**	Sensible
***	Sensibilité majeure

SUDMINE SAS & GéoPlusEnvironnement

Figure 2. Synthèse des sensibilités, contraintes et servitudes du PER Kango (source : SUDMINE).

pour la zone d'extraction, au titre du Code minier, incluant une étude d'impact, une enquête publique et une enquête administrative ;

- une autorisation Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), pour l'installation de traitement du minerai, au titre du Code de l'environnement, incluant aussi une étude d'impact, une enquête publique et une enquête administrative.

Toutes ces autorisations ne sont pas du tout « gagnées d'avance », mais dépendront de la pertinence du projet précis d'exploitation. Elles peuvent tout à fait être refusées. Les exemples de tels refus sont fréquents : l'exemple le plus démonstratif est l'autorisation d'ouverture de la mine de « Camp Caïman » qui a été refusée, entre autres pour son interaction potentielle avec une réserve naturelle, il y a quelques années à Cambior et lamGold en Guyane française, après plusieurs périodes de PER acceptées et plusieurs dizaines de millions d'euros dépensés en exploration.

Le « droit de suite », parfois évoqué, ne revêt abso-

lument pas la signification d'une automaticité d'autorisation d'ouverture de mine. Loin de là ! Cela signifie simplement qu'un PER permet de demander éventuellement un titre minier d'exploitation et les autorisations administratives liées. Mais certainement pas de les obtenir automatiquement !

### Les engagements de SUDMINE

Pour développer au mieux son projet minier de Kanbo, dans le respect de ses convictions, SUDMINE s'engage à :

- mettre en place une Commission locale de concertation et de suivi (**CLCS**) invitant toutes les parties prenantes au sujet (mairies, associations, riverains, agriculteurs, administration...), à des réunions régulières (semestrielles ?), permettant une réelle concertation préalable au projet, ainsi qu'ensuite, si le projet voit le jour, un suivi objectif de sa réalisation. Cette CLCS permettra d'aboutir à un **Contrat social minier**, signé par toutes les parties, qui engagera SUDMINE dans les différents domaines et actions jugés pertinents par la CLCS ;
- respecter, bien évidemment, la **propriété privée**. Par exemple, aucun prélèvement de sol à la tarière manuelle ne sera effectué sur un terrain privé, sans l'accord préalable de son propriétaire. Une démarche officielle d'information et d'enregistrement des autorisations et des refus d'accès sera menée par SUDMINE avant toute campagne de prélèvements ;
- créer une **structure dédiée** à ce projet avec financement participatif ouvert (par crowdfunding notamment) à toute personne (physique, morale ou institutionnelle) souhaitant s'impliquer concrètement dans le projet, afin de partager concrètement cette aventure industrielle avec tous ceux qui le souhaiteront ;
- rechercher exclusivement un **éventuel gisement d'or libre superficiel** se limitant à quelques hectares de superficie et à quelques mètres de profondeur (« couches à galets »). D'ailleurs, le périmètre de la demande de PER n'englobe essentiellement que le piémont montrant ces couches superficielles de galets incluant parfois de l'or libre sous forme de particules dans la matrice argilo-sableuse (Fig. 3) ;
- ne pas rechercher un **gisement « primaire »** où l'or serait combiné avec d'autres métaux. Le périmètre de la demande de PER ne recouvre d'ailleurs pas les formations géologiques « primaires » de la zone axiale des Pyrénées ;
- se concentrer sur la **recherche d'or libre** (c'est-à-dire pur, non allié à d'autres métaux, et en particules libres dans une matrice argilo-sableuse), donc **facilement récupérable** par une simple séparation physique, à sec comme en Australie par

exemple, ou sous eau plus probablement, et surtout sans aucun produit ajouté ;

- mettre en place un **circuit fermé de recyclage d'eau**, en cas de traitement sous eau à l'avenir, afin de supprimer absolument tout rejet en rivière, et limiter la consommation d'eau à un simple appoint compensant les pertes du circuit fermé dues à l'évaporation ou à l'infiltration (voir figure 3) ;
- prévoir, en cas d'exploitation, un **réaménagement du site coordonné** à l'exploitation, afin qu'à chaque hectare exploité corresponde rapidement un hectare remis en état (identique à l'état initial, ou remis en culture, ou de pâture, ou replanté en forêt d'essences locales, ou en Musée de la mine actuelle et passée, ou en Parc d'attraction sur le thème des chercheurs d'or du Pays, etc.) (voir figure 3). La vocation du réaménagement du site sera choisie en concertation avec les propriétaires des terrains et la CLCS ;
- étudier la valorisation locale des **stériles d'exploitation** (galets pour la construction traditionnelle de murets, galets pour la fabrication de granulats concassés, argile pour la poterie ou la faïencerie locale) ;
- mener ses recherches en dehors des éléments marquants du **patrimoine local** (champs de piments, vestiges archéologiques (sauf si accord préalable des archéologues et de l'administration), périmètres de protection des captages AEP, forêts protégées, zones Natura 2000...) ;
- proposer de mettre en place une **collaboration étroite avec des archéologues**, si possible locaux (institutionnels, universitaires, privés et/ou amateurs) pour aider à l'accroissement de la connaissance des vestiges archéologiques miniers ;
- œuvrer en faveur de la préservation des vestiges archéologiques miniers les plus importants ou les plus représentatifs de l'activité du passé ;
- mettre en place, le plus rapidement possible, une **cellule dédiée** à l'étude d'un projet parallèle durable de valorisation touristique, pédagogique et/ou de loisirs de cette activité minière historique et patrimoniale ;
- favoriser localement l'émergence d'une activité industrielle et commerciale en aval pour l'affinage de l'or et la bijouterie (les futurs « bijoux en or 100 % basque »).



Figure 3. Illustration 3D du projet-type Kanbo (source : SUDMINE).

de la valorisation d'une ressource locale aujourd'hui inexploitée, présentant de multiples facettes, toutes novatrices, et certaines parfaitement durables :

- partager le financement et les retombées économiques ;
- impliquer les parties prenantes tout au long de la vie du projet ;
- accélérer la connaissance patrimoniale de l'histoire locale minière ;
- valoriser une richesse géologique exceptionnelle non délocalisable ;
- créer une nouvelle filière semi-industrielle locale ;
- favoriser et encourager les filières aval locales (maçonnerie traditionnelle, BTP, faïencerie, poterie, atelier d'affinage de l'or, bijouterie basque, etc.) ;
- participer au mouvement de « recentrage » de l'économie mondiale basée sur des « circuits courts » ;
- favoriser la sous-traitance locale (transports, BTP, restauration, hébergement, électricité industrielle, chaudronnerie industrielle, etc.) ;
- participer pour faire émerger une activité nouvelle et durable de loisirs pédagogiques, archéologiques et miniers.

**Devenez, pour une journée, ou plus si affinités, chercheur d'or sur la trace des Tarbelles**

**Contacts :**

Tél. : 06 88 16 76 78

Fax : 02 38 24 85 66

Courriel. : [sudmine@sudmine.com](mailto:sudmine@sudmine.com)

**Informations SUDMINE et projet Kanbo :**

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

Site sur lequel un formulaire de manifestation de soutien à ce projet est accessible.

### Un projet de développement local, à multiples facettes

L'objectif de SUDMINE à Kanbo est bien un projet, entièrement nouveau, de développement local, sur la base

## Le développement minier durable et novateur dans le contexte guyanais

Michel Boudrie<sup>1</sup> et Michel Jébrak<sup>2</sup>.

### Généralités

La Guyane est un pays neuf sur le plan industriel. Malgré des années de présence française, le territoire reste quasiment vierge et plus d'un quart est classé dans une perspective de conservation. Les routes ne s'éloignent pas à plus de 30 km de la côte. Le taux de chômage reste élevé, 22% en 2014. C'est l'Europe en Amérique du Sud... avec une démographie dynamique exigeant un développement économique. À la différence de la Nouvelle Calédonie, la Guyane reste un département français d'Outre-mer. Il en hérite à la fois des avantages et des inconvénients, d'une protection sociale enviable pour le continent, couplé à un empilement réglementaire à l'épaisseur exceptionnelle.

Un état des lieux a été présenté dans "Géologues" n°181 de juin 2014<sup>3</sup> par la Rédaction avec l'aide de Mario Billa (BRGM<sup>4</sup>) et d'Alexandre Cailleau (CME-FEDOMG<sup>5</sup>). En 2015, la Guyane a connu une évolution institutionnelle importante. Une nouvelle collectivité, la Collectivité Territoriale de Guyane, a vu le jour en substitution du Conseil régional et du Conseil général existant jusqu'alors. Elle cumule les compétences exercées par ces deux Conseils, ce qui devrait, *a priori*, permettre de simplifier les démarches administratives au niveau local.

Plusieurs évolutions se font sentir aux **trois niveaux de la filière minière**, dont nous souhaitons présenter ici quelques tendances.

### Premier niveau : les grands projets d'or primaire

Dans ce domaine, l'arrêt du projet lamgold de Camp Caïman, en 2008, a envoyé un signal clair, et malheureusement négatif, à tous les investisseurs, sur les risques encourus vis-à-vis de la Guyane. lamgold réclame aujourd'hui un dédommagement sur les investissements, d'abord encouragés par la puissance publique, puis arrêtés suite au Grenelle de l'Environnement et à la décision du Président de la République. Deux compagnies seulement continuent à investir : Columbus Gold, associée à Nordgold au sein de la Sotrapmag (filiale guyanaise de Columbus Gold)

dans le secteur de Paul-Isnard, et Newmont qui s'est associée à Auplata pour développer les permis de recherches de Bon Espoir et d'Iracoubo-Sud détenus par Armina Ressources Minières (filiale d'Auplata) (Fig. 1).

Début 2013, Columbus Gold a acquis la totalité du capital social de la Sotrapmag, puis, fin 2013, s'est associée à Nordgold, producteur d'or qui exploite neuf mines en Afrique de l'Ouest, au Kazakhstan et en Russie. En 2015, Nordgold a produit presque un million d'onces d'or (30 tonnes environ). Sur le projet de Montagne d'Or, Nordgold

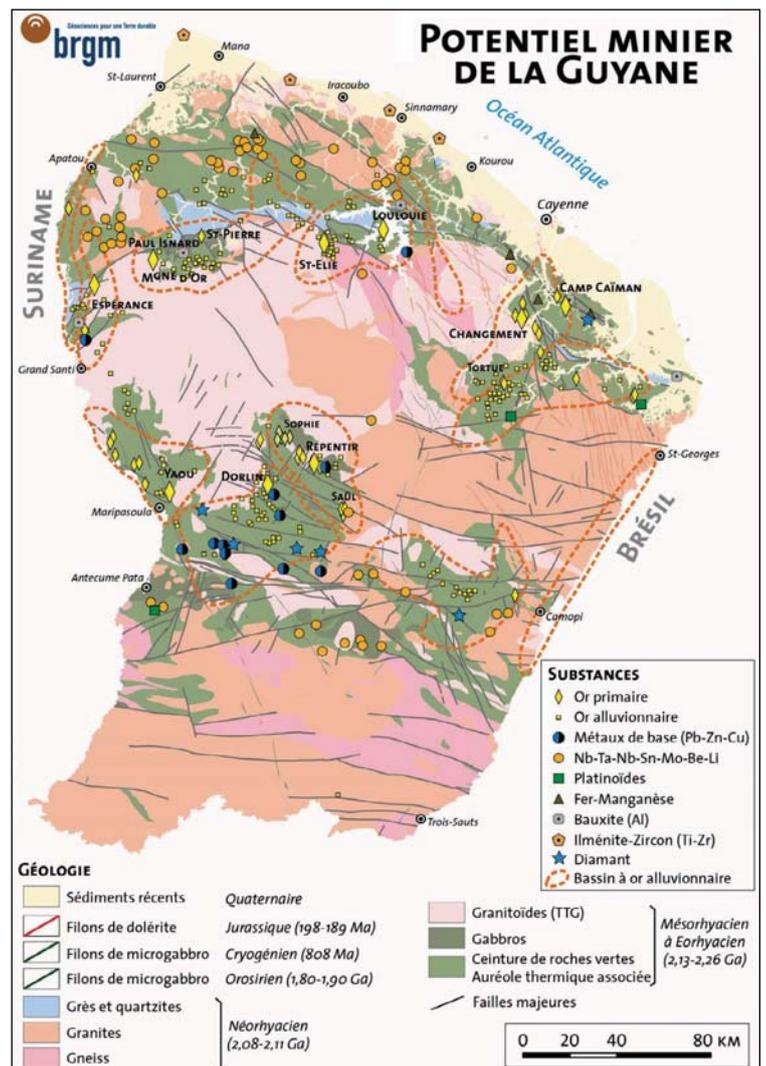


Figure 1. Localisation des principaux sites miniers de Guyane (source : BRGM, Collection Mine responsable, Tome 8, Exploration et exploitation en Guyane, à paraître).

1. Directeur Sotrapmag SAS, Rémire-Montjoly, Guyane française.

2. Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, Université du Québec à Montréal (UQAM), Canada.

3. Guyane : état des lieux du secteur minier, pp. 46-55.

4. Bureau de recherches géologiques et minières.

5. Compagnie minière Espérance et Fédération des Opérateurs miniers de Guyane.

s'est engagée à dépenser un montant de 30 millions de dollars US et de produire une étude de faisabilité bancaire pour le 1<sup>er</sup> trimestre 2017, de façon à acquérir 55 % des parts de la Sotrapmag, l'autre partie restant à Columbus. De ce fait, le projet de **Montagne d'or (Paul Isnard)** a connu un développement considérable au cours de ces deux dernières années, avec plus de 60 000 mètres de forages réalisés (Fig. 2).

Selon l'étude économique préliminaire publiée en juillet 2015 et sur la base d'un cours de l'or à 1 200 \$US l'once, Montagne d'Or présente des ressources exploitables en fosse de 95 tonnes d'or à une teneur de 1,8 g/t. Le gisement est encaissé dans la branche nord de la ceinture de roches vertes du Paramaca, d'âge Protérozoïque. Cette ceinture correspond à une séquence d'arc volcanique formée entre 2,18 à 2,13 Ga, au cours de l'Orogenèse transamazonienne. Les caractéristiques géologiques de Montagne d'Or sont très différentes de celles des autres gisements d'or de la région, qui sont de type filonien ou placer. La minéralisation est en effet encaissée dans une séquence volcanique bimodale, délimitée par une zone de cisaillement majeure orientée Est-Ouest. Ce volcanisme sous-marin est attesté par la présence de basaltes en coussins et de volcanoclastites felsiques. L'or est associé principalement à pyrite, pyrrhotite et chalcopryrite, accompagnées de sphalérite, magnétite et arsénopyrite (Photo 1). Cette minéralisation est d'allure concordante ou en stockwerk, ou transposée dans la foliation (Photo2). Elle présente donc les caractéristiques d'un gîte de sulfures massifs volcanogènes aurifères, ce qui est une découverte dans ces terrains.

Le projet est actuellement en cours d'étude de fai-

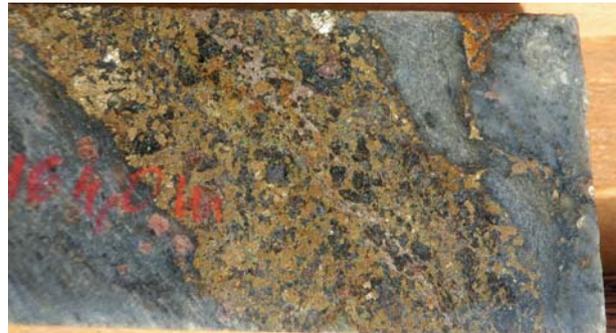


Photo 1. Sulfures aurifères (pyrite, pyrrhotite) en amas, encaissés dans des volcanites felsiques (Montagne d'Or – photo SOTRAPMAG).



Photo 2. Carottes de sondages de Montagne d'Or : volcanites felsiques et mafiques à amas de sulfures aurifères (Montagne d'Or – photo SOTRAPMAG).

sabilité. Ce type d'étude, toujours complexe, doit intégrer à la fois les données géologiques, faire les choix technologiques en termes d'exploitation, d'énergie, de logistique, planifier les ressources humaines, tout en satisfaisant à l'ensemble des obligations légales. La Guyane est un territoire français qui appartient à l'Europe : s'applique donc

un millefeuille de lois, décrets et règlements, dont il n'est pas sûr que tous aient été pensés pour une application en forêt amazonienne... Une mine industrielle est une installation Seveso, ce qui implique une étude de dangers, lourde et complexe, et a un impact environnemental certain. Elle doit s'inscrire également dans les dispositions du Plan local d'urbanisme (PLU). La gestion des produits chimiques obéit à la directive REACH<sup>6</sup>. C'est cet ensemble de contraintes qui sera évalué par l'étude de faisabilité dont les résultats seront connus vers fin 2016. Par la suite, en cas de décision positive, il faudra attendre les diverses autorisations administratives (AOTM<sup>7</sup>, ICPE<sup>8</sup>, etc.) pour lancer la construction des infrastructures minières pour espérer une mise en production vers 2020. Ce projet représente un investissement de près de 500 millions d'euros, avec une création de 800 emplois directs pour la mine

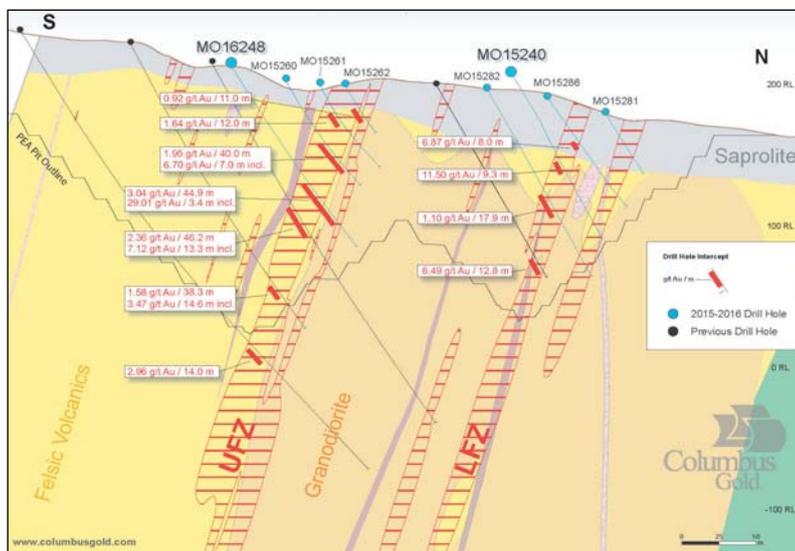


Figure 2. Section 2650 Est du gisement de Montagne d'Or (source : Columbus Gold).  
Légende : — Intersection minéralisée (épaisseur et teneur en g Au/t). • Sondage 2015-2016.  
• Sondage antérieur. — Limites de la future fosse d'extraction à ciel ouvert, selon l'étude économique préliminaire (Preliminary Economic Assessment, PEA). UFZ : Zone favorable supérieure - LFZ : Zone favorable inférieure.

6. Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals.  
7. Autorisation d'ouverture de travaux miniers.  
8. Installations classées pour la protection de l'environnement.

et jusqu'à 3 000 emplois indirects et induits.

En parallèle à ce projet plutôt avancé de Montagne d'Or, et dans la même région de l'Ouest Guyanais, un autre projet minier d'importance, en or primaire, commence à voir le jour. Il s'agit du projet d'**Espérance** (voir figure 1), développé par la Compagnie Minière Espérance (CME).

## Second niveau : les compagnies minières locales

Cette filière concerne des compagnies comme la Société des Mines de Saint-Elie (SMSE), la Compagnie Minière Espérance (CME), Auplata (mine de Dieu-Merci), ou parfois des filiales de groupes miniers métropolitains comme Garrot-Chaillac (Compagnie Minière de Boulanger) qui exploitent l'or primaire et/ou l'or alluvionnaire. Ces entreprises ont développé et modernisé leur production. Ainsi, Auplata a obtenu en 2015 l'autorisation de développer une unité industrielle de cyanuration, après avoir eu également l'autorisation de mettre en place une unité pilote de cyanuration à Rémire-Montjoly, non loin de Cayenne. Cette technique remplacera la production gravimétrique d'or à partir de la saprolite<sup>9</sup>. On passe ainsi d'une récupération de 25-30 % à 95 % de l'or, ce qui permettra une reprise des tailings stockés près de la mine, estimés à une tonne de ressources. L'autorisation du **traitement par cyanuration** en Guyane est une première car il s'agit d'installation classée ICPE, ce qui ouvre la porte à une nouvelle vision de l'exploitation minière. De plus, une trentaine de sociétés minières locales, de taille artisanale, continuent actuellement d'exploiter l'or essentiellement alluvionnaire.

D'autres projets ont rencontré de graves difficultés d'acceptabilité sociale. C'est le cas, par exemple, du projet de la société Rexma sur la crique Limonade, à Saül, commune de 200 habitants du Parc amazonien de Guyane. Rexma a obtenu un permis de recherche en 2006 et un permis d'exploitation en 2012. Cependant, après neuf ans d'études, le CODERST<sup>10</sup>, instance administrative réunissant les services de l'État, des professionnels, des élus et des ONG, a voté contre la demande d'ouverture des travaux. Les promesses de Rexma de reforester le site après exploitation, de restaurer les routes et le petit aérodrome, d'installer le haut débit internet dans la région et de construire une centrale biomasse en plus de la création d'une centaine d'emplois, n'ont pas suffi à convaincre la population, ni les experts du CODERST de l'utilité et du caractère responsable du projet. Le paradoxe est là : le village de Saül n'existe que par la présence d'une activité minière démarrée avec la ruée vers l'or du XIX<sup>e</sup> siècle. Et ce sont les habitants actuels qui décident d'une zone de protection autour du village afin qu'aucune exploitation minière ne puisse s'y établir.

## Troisième niveau : les orpailleurs illégaux, venant du Surinam ou du Brésil

C'est la principale production aurifère du territoire : près de 10 tonnes, pour 1,5 tonne légale. L'orpaillage illégal s'est développé en Guyane depuis la fin des années 90, avec son cortège de misère, d'impact environnemental et d'insécurité. Il se combine à une immigration illégale de milliers de personnes. On estime le nombre d'orpailleurs illégaux à environ 6 000 actuellement. Les autorités françaises ont entrepris de les combattre, dans le cadre de l'opération « Harpie », lancée en 2008, en continuité de la précédente opération « Anaconda ». En octobre 2014, 64 orpailleurs brésiliens ont été arrêtés dans le massif de l'Inini situé à l'intérieur des limites du Parc Amazonien de Guyane, une aire protégée de 2 millions d'hectares surveillés par 80 agents... En Guyane, 412 puits ont été détruits par les Forces Armées en 2015, et il en resterait environ 200. Les campements sont de plus en plus précaires, reflétant l'action des forces armées.

## L'avenir minier de la Guyane

Quel sera cet avenir ? Le gouvernement français a entrepris d'appuyer une relance de l'activité minière en France, avec le Ministre Arnaud Montebourg, prolongée par l'action d'Émanuel Macron. La création d'une Compagnie Française des Mines a d'abord été envisagée, à partir d'un établissement public ou d'une structure existante. Mais la situation difficile de la filière et le retournement des marchés ont conduit à l'abandon de ce projet. Parallèlement, a été envisagée l'idée d'une société publique pour appuyer les mines en Guyane, plusieurs initiatives pouvant aussi venir de la nouvelle Collectivité territoriale de Guyane.

Par ailleurs, en attendant le vote éventuel sur le nouveau code minier, le Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique a soutenu l'écriture d'un Livre blanc de la Mine responsable en France<sup>11</sup> et une Convention d'engagement volontaire (dont certains points sont spécifiques à la Guyane). Le comité de rédaction associe le Ministère, le BRGM, l'INERIS<sup>12</sup> et la Chaire « Mine et Société ». Le chapitre 8 du Livre blanc, rédigé avec le concours de la FEDOMG, est consacré à l'exploration et l'exploitation en Guyane, à l'exception des activités d'orpaillage. Le document décrit les spécificités de la Guyane, en particulier l'existence d'un artisanat minier et le cadre sociétal particulier : population jeune, faible densité de population, multiculturalisme. Ce Livre blanc devrait donc permettre de bien baliser les prochains développements de la Guyane qui reste aujourd'hui, avec la Nouvelle-Calédonie, le principal territoire minier en France.

9. Roche meuble résultant de l'altération chimique d'une roche saine sous-jacente.

10. Comité départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques.

11. Voir l'article d'Alain Liger dans ce numéro.

12. Institut national de l'environnement industriel et des risques.

# Bilan du Schéma de mise en valeur des richesses minières de Nouvelle-Calédonie

DIMENC<sup>1</sup>.

## Introduction

Le 18 mars 2009, le Congrès de la Nouvelle-Calédonie adopta à l'unanimité le Schéma de mise en valeur des richesses minières<sup>2</sup> attendu depuis 9 ans, une loi portant réforme du Code minier<sup>3</sup> vieux de cinquante ans et une délibération créant l'établissement public « Fonds Nickel<sup>4</sup> », chargé de la réhabilitation du passif environnemental, du soutien du secteur minier en cas de crise et du financement d'un fonds pour les générations futures. Ces textes fondent une nouvelle approche du développement du secteur minier en tenant compte notamment de l'exceptionnelle biodiversité du pays et des réalités sociales ou sociétales.

Ainsi, après six ans de mise en œuvre et d'application de ce qu'il est possible d'appeler une première politique minière, un premier bilan des actions réalisées et des résultats obtenus peut être établi selon les cinq axes prioritaires qui structurent le Schéma de mise en valeur des richesses minières :

- lisibilité, stabilité et transparence des pratiques administratives en matière minière pour faciliter le développement raisonné de l'industrie minière ;
- inventaire des ressources pour une meilleure connaissance des potentiels de la Nouvelle-Calédonie et des perspectives de mise en exploitation des gisements ;
- préservation durable de l'environnement ;
- orientations en matière de développement industriel ;
- vers une gestion durable des retombées économiques et sociales des projets miniers et métallurgiques.

## Ces cinq axes sont repris et détaillés ci-après

### *Assurer la lisibilité, la stabilité et la transparence des pratiques administratives en matière minière pour faciliter le développement raisonné de l'industrie minière*

La mise en place et le maintien d'un cadre réglementaire moderne, lisible et cohérent malgré la répartition des compétences minières en Nouvelle-Calédonie (Tabl. 1) est la première des priorités affichées dans le schéma de mise en valeur des richesses minières.

Cette volonté s'est traduite notamment **avec le maintien, depuis le transfert de la compétence minière en**

**2000, d'un service administratif unique**, la DIMENC, en charge de l'élaboration et de l'application du cadre réglementaire minier, et constituant pour la profession minière un « guichet unique » sur le plan administratif. Elle s'est ensuite et surtout traduite par **l'adoption d'un code minier moderne** et adapté au contexte de la Nouvelle-Calédonie, touchant aux substances « stratégiques » exploitées, à savoir le nickel, le chrome et le cobalt. Ce code a été rédigé, puis adopté, par le Congrès après une phase de large consultation des acteurs, notamment les associations de protection de l'environnement et les industriels. D'autre part, dans un contexte où le droit calédonien est encore en construction sur de nombreux aspects, un effort permanent doit être apporté à la cohérence des réglementations applicables sur site minier, qu'elles relèvent des codes de l'environnement, des réglementations applicables à la protection de la ressource en eau, de celles en matière de santé et sécurité.

### *Inventorier les ressources pour une meilleure connaissance des potentiels de la Nouvelle-Calédonie, et des perspectives de mise en exploitation des gisements*

Le constat de la reconnaissance incomplète du potentiel minier de la Nouvelle-Calédonie a conduit à identifier l'exploration du domaine comme un axe stratégique de la politique minière calédonienne et à définir les conditions dans lesquelles un renforcement des efforts d'exploration du territoire pouvait être visé.

Il s'agissait en particulier de viser à **l'application des meilleures techniques disponibles pour la réalisation des travaux de recherche**. Les codes miniers et environnementaux ont ainsi instauré un cadre incitatif pour les recherches héliportées (Photo 1), conduisant les mineurs à utiliser préférentiellement ces techniques sur les zones vierges. De plus, les industriels sont dorénavant soumis à des prescriptions détaillées dans chacun des arrêtés d'autorisation et à une obligation, là où nécessaire, de procéder à la gestion des eaux de ruissellement (Photo 2).

Du point de vue des pouvoirs publics, deux actions importantes ont été accomplies depuis 2009. D'une part, la **réalisation d'un inventaire des ressources en nickel**, réalisé par la DIMENC sur la base de l'ensemble des sondages réalisés par la profession et dont les résultats ont été intégrés aux discussions portant sur la définition d'une stratégie

1. Direction de l'industrie, des mines et de l'énergie de Nouvelle Calédonie, Didier Le Moine (didier.le-moine@gouv.nc) et Jean-Sébastien Baille (jean-sebastien.baille@gouv.nc) en étant respectivement directeur et directeur adjoint.

2. Téléchargeable du site Internet : [www.dimenc.gouv.nc](http://www.dimenc.gouv.nc)

3. Loi du pays n°2009-6 du 16 avril 2009 (partie législation) et arrêté n°2009-2005/GNC du 28 avril 2009 (texte d'application, partie réglementaire).

4. Délibération n° 467 du 18 mars 2009 créant un établissement public administratif dénommé « Fonds Nickel ».

Substances	Secteur géographique	Réglementation	Application
1. Substances utiles à l'énergie atomique	Nouvelle-Calédonie et sa zone économique exclusive (ZEE)	État	État
2. Toutes autres substances (non utiles à l'énergie atomique)	ZEE et îles non provinciales	Nouvelle-Calédonie	Nouvelle-Calédonie
3. Ni, Co, Cr et hydrocarbures	Provinces	Nouvelle-Calédonie	Provinces
4. Autres substances que celles des lignes 1 et 3	Provinces	Provinces	Provinces

Tableau 1. Répartition des responsabilités en matière minière (source : Schéma de mise en valeur des richesses minières, adapté, déjà publié dans "Géologues" n°181 p. 41).

minière partagée. En complément, le code pose une obligation de reconnaissance avant 2019 de tous les titres détenus, sous peine de possible déchéance, qui conduira à une reconnaissance extensive du domaine. Les données sont transmises à la DIMENC qui opérera une actualisation du potentiel des ressources, notamment sur les zones où aucun travail de recherche n'avait été mené jusqu'à présent.

D'autre part, le **renforcement du service de la géologie de la Nouvelle-Calédonie** a été initié avec l'embauche de nouveaux géologues, hydrogéologues ou géologues marins, le renouvellement de l'appui du BRGM<sup>5</sup> et l'instauration de partenariats notamment avec l'Université de Nouvelle-Calédonie, l'ADECAL<sup>6</sup> ou encore l'IFREMER<sup>7</sup>. Le service est ainsi aujourd'hui engagé dans un certain nombre de travaux de reconnaissance géologique sur le terrain (Photo 3), d'études multipartites ou encore de thèses de doctorat, tant sur le domaine terrestre que sur le domaine marin, qui visent notamment à améliorer la connaissance fondamentale des potentiels miniers du territoire.

### Préserver durablement l'environnement en proposant des outils administratifs, scientifiques, techniques et financiers adaptés

Le domaine de la préservation de l'environnement est certainement celui dans lequel la Nouvelle-Calédonie a fait le plus de progrès depuis 2009, en particulier par le biais de l'adoption du volet « police des mines » du Code minier.

Le schéma minier recommandait **tout d'abord l'adoption des meilleures techniques disponibles, tout au long du cycle de vie des projets miniers**, afin d'éviter, minimiser et compenser (Photo 4) les impacts sur l'environnement et la biodiversité. Sur ce plan, le Code minier a modifié en profondeur les exigences nécessaires à l'exploitation, depuis l'autorisation personnelle minière (dont l'octroi est désormais réservé aux exploitants ayant fait leur preuve en matière d'environnement), jusqu'à l'exploitation (soumise à autorisation après une étude d'impact environnemental et une étude d'impact socio-économique) et la fermeture des zones d'emprunt (dans le cadre de laquelle la mise en œuvre d'un plan de fermeture et de réhabilitation est

désormais obligatoire et garanti financièrement).

Il est important de noter, en effet, que, dans les délais prévus par la loi, les sites miniers historiques, soit 27 au total, ont été régularisés au titre des nouvelles dispositions du code. Ainsi, et pour la première fois, l'exploitation de chacune des mines en activité est encadrée par un arrêté d'autorisation en bonne et due forme, qui précise l'ensemble des prescriptions que doit respecter l'exploitant. Ces arrêtés contiennent notamment des dispositions relatives à la compensation écologique ou encore à la résorption progressive du passif environnemental et particulièrement dans les cours d'eau.



Photo 1. Hélicoptage d'une sondeuse en région Grand Sud (source : DIMENC).

5. Bureau de recherches géologiques et minières.

6. Agence de développement économique de la Nouvelle-Calédonie.

7. Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.



Photo 2. Gestion des eaux de ruissellement - Mine de Goro (source : DIMENC).

Le schéma minier prévoyait également la **mise en place des outils, manquants aujourd'hui, de préservation de l'environnement sur site minier**, en particulier avec le soutien des organismes de recherche. Il s'agissait notamment d'identifier les sites biologiques d'intérêt majeur, de rassembler la connaissance floristique spatialisée ou encore de développer des sites observatoires. Sur ce plan, des efforts restent à faire afin de mutualiser les informations et de concentrer les moyens, mais des leviers de changement existent néanmoins, notamment par le biais du Centre national de recherches technologiques « Nickel et son Environnement » qui consacre une partie importante de son action à ce sujet.

Enfin, le sujet spécifique de l'**amiante environnementale** a fait l'objet d'efforts particuliers de la part du gouvernement, notamment par la définition des zones d'aléas, des cartographies géologiques détaillées, de missions d'expertise sur la gestion du risque amiante ou encore de l'adoption d'un cadre réglementaire visant la protection des salariés.

La **réhabilitation des sites miniers dégradés par le passé** a été organisée en tenant compte des recommandations du schéma, avec notamment la création du Fonds Nickel, l'inventaire des sites dégradés et l'élaboration de programmes pluriannuels d'interventions (sites miniers et cours d'eau), le principe de la participation financière des concessionnaires pour les sites se situant sur leur domaine et enfin la répartition entre les sites dont la responsabilité appartient aux opérateurs miniers (l'ensemble des sites exploités après 1975) et ceux sous responsabilité partagée avec la puissance publique.

Enfin, le schéma minier appelait à la **poursuite du développement d'un réseau d'aires protégées représentatives de la diversité des milieux calédoniens**. Sur ce point, plusieurs actions ont été menées, ou sont en cours, au niveau des provinces. On citera en particulier le classe-

ment de la Plaine des Lacs en tant que zone humide protégée par la convention RAMSAR<sup>8</sup>. Au-delà des parcs, l'interdiction de l'activité minière dans les zones d'intérêt supérieur est progressivement mise en œuvre, notamment par les codes de l'environnement provinciaux, au travers du classement des formations forestières et des formations paraforestières en zones d'intérêt patrimonial.

### **Les orientations en matière de développement industriel, nécessaires à l'exploitation des richesses minières dans une perspective de développement durable**

En matière de développement industriel, le schéma minier appelait, en premier lieu, à **favoriser la compétitivité des entreprises minières et métallurgiques locales**, par différents biais, tous mis en œuvre aujourd'hui :

- en intensifiant l'effort de recherche et le développement de nouvelles pratiques pour l'exploitation du nickel, en particulier par le biais de l'action du CNRT<sup>9</sup> « Nickel et son environnement » ;
- par la réalisation de plans miniers à moyen et long terme, qui doivent être transmis à l'administration dans



Photo 3. Sondeuse en action (source : DIMENC).

8. Convention sur les zones humides - traité international pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides, adopté à Ramsar (Iran), le 2 février 1971.

9. Centre national de recherche technologique.



Photo 4. Remise en état coordonnée et revégétalisation – Mine de Goro (source : DIMENC).

le cadre des procédures d'autorisation ;

- par l'instauration d'un principe du stockage différencié des produits stériles ou des minerais sub-économiques pour une éventuelle reprise ultérieure, principe aujourd'hui intégré systématiquement sous forme de prescriptions techniques dans les arrêtés d'autorisation d'exploiter<sup>10</sup>.

Le développement et l'intensification de la **formation initiale et continue** sur les domaines de compétence nécessaires à l'industrie était également prévue. Ces dernières sont dispensées par le biais des structures existantes : Université de Nouvelle-Calédonie (DEUST), Centre de formation aux techniques des mines et carrières (CFTMC) pour le brevet professionnel « mine » et les formations de conducteurs d'engins (Photo 5). La forte demande à l'heure actuelle en matière de maintenance des machines et des équipements, notamment des équipements métallurgiques, nécessite toutefois que soit encore renforcé cet effort, notamment par le développement de plates-formes consacrées à la maintenance industrielle ou le développement des capacités de formation du CFTMC, notamment en maintenance d'engins. Enfin, des partenariats pour des formations de plus haut niveau doivent encore se construire avec des établissements de formation reconnus, tant en France (par exemple en matière de géosciences) qu'à l'étranger.

La compétitivité des industries locales apparaissait d'autant plus nécessaire que le schéma minier affirmait l'intérêt de la Nouvelle-Calédonie à développer la **valorisation locale de la ressource**. Des outils réglementaires visant à favoriser ce modèle ont été mis en place, en particulier les trois réserves métallurgiques, qui ne peuvent alimenter que la métallurgie locale, créées sur les zones de Grand Sud, Tiébaghi et Koniambo. Le dispositif des réserves techniques provinciales a également été mis en place afin de pouvoir réserver des gisements pour des projets miniers futurs. Pour l'heure, compte tenu de leur taille, seuls les gisements de Prony et Pernod ont fait l'objet d'une telle procédure de classement par la province Sud.

Au-delà des dispositifs réglementaires, le schéma

évoquait les **orientations privilégiées** susceptibles de faciliter le développement d'une valorisation locale de la ressource. Sur ce plan, le principe de mutualisation ou de regroupement d'infrastructures, visant à réduire les coûts sociaux, environnementaux et économiques des développements miniers, n'a pas encore été concrétisé entre les acteurs même si les collectivités incitent régulièrement à ces pratiques. De même, les perspectives d'enrichissement des minerais, au-delà des unités déjà installées, sont pour l'instant limitées, compte-tenu de la taille des gisements pouvant justifier de tels investissements.

Sur les questions énergétiques, la Nouvelle-Calédonie n'a, pour l'heure, pas légiféré en matière de compensation carbone et le territoire n'a pas été inclus dans le protocole de Kyoto sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le principe de la compensation est toutefois réaffirmé dans le projet de schéma de l'énergie et du climat et des réflexions sont en cours sur l'opportunité de pouvoir rejoindre le protocole en cours de négociation qui succédera à Kyoto. Le raccordement des outils de production d'énergie des métallurgistes au réseau de transport est en revanche une réalité, notamment s'agissant de la société KNS avec un raccordement au réseau de distribution de sa centrale et de ses TAC (turbines à combustion). Une démarche similaire devra être reconduite pour la nouvelle centrale thermique de la SLN<sup>11</sup>.

Une démarche de **clarification des principes régissant la politique d'exportation des produits miniers** a également été entreprise. Le cadre réglementaire en matière d'exportation a été mis à jour par l'adoption d'une délibération du Congrès au titre du commerce extérieur et d'un arrêté du gouvernement. Le contenu des demandes d'autorisation d'exportation des minerais et les critères d'évaluation de ces demandes ont été précisés. Ces derniers comprennent les principes économiques de la valorisation des produits miniers ainsi que les intérêts et avantages pour la Nouvelle-Calédonie de ces opérations de cession. Un Comité du commerce extérieur minier, chargé d'évaluer et de rendre un avis sur les demandes d'autorisation d'exportation avant que le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie ne statue, a également été constitué.

Enfin, le **renforcement de l'information des décideurs économiques et politiques sur les projets miniers, l'économie du nickel et les fonctionnements du marché** était identifié comme nécessaire afin que la Nouvelle-Calédonie se saisisse pleinement des choix stratégiques s'offrant à elle. Le vecteur principal en a été l'Observatoire du nickel et du cobalt, en place depuis 2008. Cet observatoire s'articule autour de bases de données régulièrement mises à jour sur les fondamentaux du marché, les

10. Le stockage différencié consiste à séparer les franges strictement « stériles » des franges « sub-économiques » (stériles à l'instant mais potentiellement valorisables à courte échéance). Les mélanger empêcherait leur valorisation (dilution teneur), même à longue échéance. Les teneurs de séparation sont variables, d'un minerai à l'autre (latérite ou saprolite) et d'un site à l'autre (conditions de rentabilité).

11. Société Le Nickel, Groupe ERAMET.

opérateurs ainsi que le marché de l'acier inoxydable et du cobalt. Une information régulière est organisée par la DIMENC à l'attention des institutions et des industriels. Le renforcement des relations avec les principaux pays clients/partenaires, autre vecteur potentiel de partage d'information, n'a pas pu être initié pour l'heure.

### *Vers une gestion durable des retombées économiques et sociales des projets miniers et métallurgiques*

La gestion des impacts économiques et sociaux des développements miniers est une composante essentielle de toute stratégie de développement durable. La généralisation des **études sur les impacts sociaux et économiques potentiels des nouveaux projets miniers et métallurgiques** a été la première des mesures mises en œuvre. Une étude d'impact socio-économique est maintenant requise par le Code minier pour toute autorisation d'exploitation. Cette étude publique est donc à disposition notamment des membres du CNRT, des collectivités ou encore de la profession minière. Elle doit comprendre un état initial du contexte socio-économique, l'identification des impacts positifs comme négatifs envisagés, ainsi que les mesures de gestion de ces derniers.

Il devra découler de ces études la mise en place de **stratégies de gestion des impacts socio-économiques**, comme le prévoit la réglementation. Ces plans de gestion n'auront véritablement de sens que si les opérateurs, les municipalités, les autorités coutumières et les institutions entretiennent un dialogue continu autour de ce plan de gestion et ce, tout au long de la vie du projet. Afin de faciliter ces échanges, le Code minier a ouvert la possibilité de création

de Comités locaux d'information (CLI) pour des projets importants, en complément des commissions minières communales. Deux CLI ont été créés depuis l'adoption du code minier. La procédure d'instruction des travaux d'exploitation telle que prévue par le code minier prévoit en outre une enquête publique d'une durée d'un mois afin d'informer et d'associer la population à la prise de décision.

Dans l'ensemble, il est encore trop tôt pour se prononcer sur l'influence effective de ces différents dispositifs, visant à instaurer un principe de transparence et d'équité, sur les modes de gestion « historiques » des impacts socio-économiques.

Enfin, le Schéma minier proposait de **fonder un développement industriel pour les générations futures à partir des retombées actuelles du secteur minier et métallurgique**. C'est notamment l'objet du Fonds Nickel, qui vise le soutien des entreprises minières et de leurs sous-traitants en cas de crise du secteur par la prise en charge des cotisations patronales ou l'ouverture de travaux visant à la résorption du passif environnemental.

C'est ensuite également le rôle des entreprises minières, que le schéma appelle à participer au développement économique local, par le biais de fonds de développement ou de fondations d'entreprise. L'exemple le plus abouti est celui engagé depuis quelques années par le groupe Vale pour ce qui concerne son projet du Sud. La mise en place d'un Fonds pour les générations futures ne s'est pas concrétisée pour l'heure.

## Conclusion

En 6 ans, et même s'il reste encore du travail, la mine calédonienne a beaucoup évolué et s'est résolument inscrite dans des pratiques et des perspectives modernes, respectueuses de son environnement, en intégrant la résorption progressive du passif. En tenant compte de la préservation de sa biodiversité exceptionnelle et du cadre de vie de ses habitants, la Nouvelle-Calédonie doit maintenant préciser les contours des orientations industrielles qu'elle souhaite et organiser la gestion de la rente minière dans l'intérêt supérieur des générations futures. Le succès de cette future politique minière dépendra de l'originalité des approches qui seront retenues, et du soutien consensuel que ces dernières recevront de toutes les parties prenantes.



Photo 5. Transport de minerais latéritiques (source : DIMENC).

## La mine responsable : une nécessité d'intégration sociale, des enjeux émergents de recherche et de formation

Philippe Kister<sup>1</sup>, Yann Gunzburger<sup>2</sup>, Michel Jébrak<sup>3</sup>, Jack-Pierre Piguet<sup>4</sup>.

### La robustesse sociale des projets miniers : un nouveau risque à évaluer

Jusqu'à récemment, la prise en compte du risque par les compagnies minières concernait principalement les risques économiques (rentabilité d'un investissement, prévision sur les cours des métaux), techniques (faisabilité d'opérations, maintenance, équipement), environnementaux (études d'impact environnemental traduites en coûts) et/ou politiques (instabilité, risque de coup d'État, mesures de nationalisation).

Aujourd'hui, l'exploitation de ressources naturelles non renouvelables est également confrontée à des questions tout aussi centrales d'occupation des territoires, de préservation des espaces naturels, de conditions de vie des populations avoisinantes et, plus largement, de lien entre les activités extractives et le territoire naturel et humain au sein duquel elles se développent. Ces enjeux lient intimement les choix techniques et économiques des projets miniers avec les modalités d'intervention des populations dans les débats, la gestion de leur opposition éventuelle, et les réglementations et codes de bonnes pratiques.

Avec la multiplication des parties prenantes, un nouveau risque doit donc être pris en compte par les compagnies minières : le risque sociétal, lié aux tensions, conflits et controverses que peut susciter le développement d'un projet d'extraction dans un territoire. Un nouveau projet minier ne peut désormais aboutir qu'à condition de faire aussi preuve d'une grande robustesse sur ces aspects sociétaux.

Une manière d'analyser les interactions entre les parties prenantes est de raisonner à l'échelle de l'ensemble de la grappe minière (cluster, filière). Celle-ci ne se limite pas aux seuls exploitants miniers, mais inclut également les institutions financières, les nombreuses sociétés de service intervenant dans les projets miniers, les pouvoirs publics (État), les organisations de la société civile (ONG, syndicats, associations), les centres de formation (publics ou privés) et, plus largement, l'ensemble des individus impactés par le projet.

Les échanges avec toutes les parties prenantes conduisent à une profonde modification des pratiques et méthodes de développement minier et à l'émergence de la notion de « responsabilité » de l'activité minière. Ainsi, les études d'impact social et les plans de gestion de cet

impact s'imposent-ils comme une nécessité qui dépasse maintenant les seules obligations réglementaires. Ils sont mis en œuvre, dès les phases les plus en amont du cycle minier, c'est-à-dire dès l'exploration. Ils permettent de mieux gérer les éventuelles controverses suscitées par le projet minier en optimisant sa « productivité sociale » (i.e. ses retombées positives), afin d'éviter tout blocage potentiel ultérieur qui pourrait engendrer des surcoûts et retards d'exploitation considérables, voire l'arrêt temporaire ou même l'abandon définitif du projet. C'est ainsi qu'ont été développées les notions de mine « juste » ou « responsable », de « *Green Mining* », de « *Social Licence to Operate* », etc. Dans ce contexte, ont été rédigés des guides de bonnes pratiques en matière de gestion sociale, auxquels nombre de compagnies minières font désormais référence : guides de l'ICMM, Principes de l'Équateur, *Global Reporting Initiative*, chartes minières, index, etc.

Ces différentes initiatives traduisent une évolution de la position des entreprises, des pouvoirs publics et des organisations de la société civile. De façon schématique, on peut en retracer les grandes lignes en trois étapes successives :

- lors de la révolution industrielle et du développement simultané considérable de l'exploitation minière, la population, en dépit de ses revendications sociales légitimes, ne conteste pas l'activité extractive en tant que telle, vue comme une indispensable source de matières premières, d'emploi, de richesse, et même vecteur d'une nouvelle cohésion sociale (cités ouvrières, etc.) ;
- après la décolonisation, à la suite de plusieurs catastrophes écologiques et avec l'émergence des préoccupations environnementales (années 1970), la pédagogie auprès des populations impactées est intégrée aux projets miniers. Elle fonctionne alors souvent à sens unique, de l'entreprise porteuse du projet et détentrice de l'information qui le concerne vers les populations locales. Elle se base donc sur la communication asymétrique (distribution de plaquettes d'information, réunions publiques, etc.) et des mesures teintées de paternalisme qui tendent à conforter le rapport de force entre l'entreprise minière et la population, et non le dialogue : « le travail vient d'en bas, la lumière et l'aide, d'en haut » ;
- avec l'essor d'Internet et la mondialisation (années 2000), la diffusion de l'information est facilitée. La

1. Chaire Mine & Société, École des Mines de Nancy et Alliance Minière Responsable, Conakry, Guinée.

2. Chaire Mine & Société, École des Mines de Nancy et GéoRessources, Université de Lorraine - CNRS.

3. Chaire Mine & Société, École des Mines de Nancy et Chaire en entrepreneuriat minier UQAT-UQAM, Canada.

4. Chaire Mine & Société, École des Mines de Nancy et GéoRessources, Université de Lorraine - CNRS.

participation des populations locales et, plus généralement, de l'ensemble des parties prenantes, aux projets miniers eux-mêmes devient alors indispensable, en mettant en œuvre par exemple des initiatives de monitoring environnemental et social conjoint. Des initiatives de concertation sont lancées et visent à des échanges d'information bilatéraux et non plus à sens unique.

Ainsi, tandis que la mine s'est longtemps *imposée* à son territoire, elle doit désormais *composer* avec lui. Le défi d'aujourd'hui pour le secteur minier est donc de s'interroger sur les manières pour la mine de s'intégrer à son territoire, de ne pas poser le problème seulement dans les termes d'une « acceptabilité sociale » d'un projet non discuté, mais de mettre en place des démarches instrumentées permettant de co-construire sur le long terme des projets miniers, techniquement, économiquement et socialement robustes. Ce nouveau mode de fonctionnement ne s'improvise pas et la conception d'outils de concertation requiert le développement d'un corpus méthodologique sur la base d'actions de recherche pluridisciplinaires.

### Le risque sociétal existe, sous des formes différentes, dans tous les pays et à tous les stades de développement de projet minier

Dans les *pays « postindustriels »*, tels que la France, de nouveaux projets miniers pourraient voir le jour avec le soutien des pouvoirs publics, l'application des réglementations en vigueur et des efforts de concertation avec toutes les parties prenantes, mais sans nécessairement recueillir l'adhésion immédiate d'une population désormais vigilante et marquée par les « séquelles minières » du passé. Dans ces pays, les controverses territoriales ont souvent remplacé les controverses sociales. Dans ce contexte, la France a relancé une politique des ressources, en la déclinant avec la tradition colbertiste qui lui est propre, entre sociétés d'État et politique forte, en incluant la sensibilité environnementale des pays désindustrialisés. Ainsi, la volonté politique de permettre un « renouveau minier » a conduit le Ministère de l'Industrie à proposer la rédaction d'un Livre Blanc de bonne conduite adapté au cas français.

Dans des *pays en situation de développement* intermédiaire, où les activités minières modèlent le paysage depuis des décennies et contribuent significativement à l'économie (tels que le Maroc, le Chili, etc.), la population, qui est marquée par l'émergence d'une nouvelle classe moyenne, plus cultivée et mieux informée sur ce qui se passe ailleurs dans le monde, n'est plus toujours prête à accepter que des permis d'exploration et/ou d'exploitation

soient délivrés sans la consultation préalable de ceux qui en subiront le plus les nuisances et ne bénéficieront parfois que de manière marginale des retombées économiques. Au Maghreb, par exemple, le Printemps arabe s'est accompagné de l'apparition d'une vigilance accrue de la population sur des sujets qui n'auraient précédemment probablement pas suscité de débats (cf. par exemple les actualités en Tunisie).

Dans les *régions en voie de développement*, dépourvues de toute industrie, ou presque, l'activité minière peut induire un développement spectaculaire, mais pas toujours pérenne. Les territoires concernés demeurent, en effet, particulièrement vulnérables à l'atteinte des limites d'exploitabilité des gisements, ainsi qu'aux fluctuations des besoins en main d'œuvre de l'industrie extractive au cours du cycle minier et au gré des fluctuations du marché. Les promesses d'un bond économique à court terme conduisent aussi parfois à sous-estimer les problèmes ultérieurs de remédiation des milieux anthropisés. L'intensité des interactions entre la mine et sa « communauté » peut également conduire à des situations où les compagnies minières se substituent quasiment aux États, ce qui rend ces derniers extrêmement vulnérables dès que l'activité minière décroît et, conjointement, conduit à des attentes démesurées envers l'exploitant, que ce dernier n'est pas toujours en mesure de satisfaire. Cette situation conduit à des « pathologies socio-économiques » telles que le « *Lord's Dilemma* » ou le « *Psycho Boom and Bust* ». En guise d'exemples, peuvent être cités les développements miniers en République Démocratique du Congo (minerai de cuivre, cobalt, tantale) et en Mauritanie (minerai de fer, cuivre et or).

La robustesse sociale d'un projet minier doit donc être évaluée pour toutes les phases de développement du projet (de l'exploration à l'exploitation et à la reconversion-réhabilitation) et pour tous les niveaux de développement des pays-hôtes. L'intégration sociale d'un projet à son territoire nécessite en effet d'être entretenue tout au long de la vie du projet minier en gérant les éventuelles controverses, avec comme cible absolue l'optimisation des retombées positives pour toutes les parties prenantes, en fonction des attentes de celles-ci, qui nécessitent d'être précisément explicitées.

### Face à ce défi : la nécessité de développer une expertise pluridisciplinaire

Concevoir un projet minier « intégré » requiert le développement de méthodes permettant de comprendre et de valoriser les interactions entre les parties prenantes afin d'atteindre la robustesse sociale souhaitée. Ces

méthodes ne peuvent se limiter à des études technico-économiques des projets, à des enquêtes d'opinion ou à des campagnes d'information. En cherchant à fournir une solution technico-économique optimale élaborée par des experts, les premières ne peuvent pas facilement prendre en compte les oppositions rencontrées lors de la conduite des projets. Les secondes tendent à ignorer les rapports complexes entre la formation des opinions et la nature des problèmes techniques et économiques en jeu. Les troisièmes, enfin, relèvent d'une pédagogie à sens unique dans laquelle la population est passive et ne prend pas part à l'élaboration du projet qu'elle subit.

Ainsi, la robustesse sociale exige-t-elle l'appréhension du projet dans sa globalité : aspects techniques, économiques, sociaux, environnementaux, financiers, politiques et dynamique de communication. En conséquence, la conception d'un projet minier ne peut plus se contenter de s'appuyer sur une juxtaposition d'expertises monodisciplinaires. Elle nécessite au contraire une approche très transversale et pluridisciplinaire, ce qui requiert l'établissement d'un nouveau corpus de connaissances.

C'est dans cet esprit qu'a été conduite l'action de recherche « GazHouille », financée par le CNRS et l'Université de Lorraine, et destinée à évaluer l'intégration dans son territoire du projet d'exploitation du gaz de charbon dans le nord de la Lorraine, où une entreprise privée envisage d'extraire, par forage, le méthane contenu dans les veines de houille. S'agissant d'un ancien bassin minier associé à une longue histoire industrielle et dont la reconversion économique est douloureuse, on pourrait s'attendre à ce que les préoccupations associées à la création d'emplois priment. C'est effectivement le cas pour une certaine catégorie de la population – celle qui a connu les mines en activité et qui est familière de l'exploitation des ressources du sous-sol –, mais une autre catégorie se préoccupe davantage des aspects environnementaux et ne semble pas convaincue par les promesses économiques. Cela tient en partie au fait que l'exploitation est envisagée sur les bordures du bassin minier, dans une zone plus rurale, où le passé minier est largement effacé et où les attentes ne sont donc pas les mêmes qu'au cœur de la zone minière.

Cette étude démontre à quel point les dimensions technique, économique, historique, géographique et même de psychologie sociale sont liées. C'est la raison pour laquelle l'action « GazHouille » a réuni des chercheurs de ces différentes disciplines, accompagnés de juristes, de politologues, etc., afin d'aboutir, par tuilage des domaines d'expertise, à une vision d'ensemble.

Au-delà des besoins de recherche cités ci-dessus, il existe également dans l'ensemble des pays miniers, et

tout particulièrement dans le monde francophone, un besoin de former une nouvelle génération d'experts « responsables », capable de mieux prendre en compte les enjeux contemporains des industries extractives, en développant les outils méthodologiques leur permettant d'intégrer les aspects sociaux et le dialogue entre de multiples parties prenantes, tout en garantissant une expertise scientifique, technique et économique de haut niveau. Si la fermeture des mines en France métropolitaine a fait disparaître les terrains d'apprentissage indispensables au maintien des compétences et au développement de l'innovation technique, les classements scientométriques internationaux montrent de manière systématique que les ingénieurs et les géologues français se classent encore parmi les meilleurs mondiaux.

C'est sur la base de ce constat que quatre écoles (Mines Nancy, Mines ParisTech, Mines Alès et l'École de Géologie de Nancy) ont pris, en 2015, l'initiative de **créer un réseau d'excellence intitulé « Mine et Société »** visant à rassembler les compétences françaises – aujourd'hui morcelées – dans le secteur des ressources naturelles non renouvelables, pour prendre en compte et anticiper les besoins, à la fois des industriels, des pouvoirs publics et des organisations de la société civile.

Les besoins de formation ne se limitent pas aux ingénieurs, mais concernent tous les niveaux d'études, des techniciens aux cadres. En effet, dans les pays émergents où l'activité minière se développe rapidement, il est souhaitable de former sur place la main d'œuvre minière qui pourra prendre le relais des salariés expatriés des grandes compagnies internationales qui assurent le démarrage des projets. Ceci explique que fleurissent un peu partout, notamment en Afrique, des projets d'instituts ou d'écoles des mines, parfois portés par les compagnies elles-mêmes, qui pourtant n'ont pas la vocation ni la capacité de les soutenir sur le long terme. Pour maximiser les retombées positives de ces investissements, la formation devrait être du ressort de l'État, même si elle doit être développée en lien étroit avec les entreprises.

Cependant, lorsque le « rush » minier est trop rapide, les pays fragiles ne peuvent faire face aux besoins de formation qui apparaissent, tant les États eux-mêmes ont besoin d'être formés : formation des hauts fonctionnaires en mesure de définir les conditions de délivrance des permis et de gérer la fiscalité minière, formation des inspecteurs capables de vérifier la conformité des pratiques minières avec la réglementation, formation des formateurs pour les instituts et les écoles, etc. Dans ces domaines, la France continue de bénéficier d'atouts et de capacités considérables, auxquels s'ajoute l'image positive dont elle

bénéficie dans de nombreux pays, notamment en Afrique. La formation dans le domaine de la mine responsable constitue donc un enjeu majeur, économique et industriel certes, humain également, mais aussi un enjeu pour la politique internationale française !

### Références

- Jébrak M., 2015. Quels métaux pour demain ? Les enjeux des ressources minérales. Dunod, Paris, 256 p.
- Bergeron K., Jébrak M., Yates S., Séguin C., Lehmann V., Angers P., Gedron C., Durand S. et Le Meur P.-Y., 2015. A Social Risk Index for Mining Projects: Evaluating Social Acceptability during the Exploration Stage. In « Mineral Resources in a Sustainable World » 13th SGA Biennial Meeting 2015. Proceedings, v.4, 1503-1506.
- Laurent B. et Merlin J., 2015. The resources of political and economic autonomy: mise en valeur of nickel in New Caledonia. Colloque annuel du Science and Democracy Network, Harvard University, Cambridge MA, 25-27 juin 2015.
- Franks D.M., Davis R., Bebbington A.J., Ali S.H., Kemp D., Scurrah M., 2014. Conflict translates environmental and social risk into business costs. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(21), 7576-7581.
- Social License in Action, Case Study – Minera San Cristobal : <http://www.sociallicense.com/action.html>
- Emmanuel MACRON engage la démarche « Mine responsable ». Communiqué de presse du Ministre de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique, n°493, Paris, 24 mars 2015 : <http://proxy-pubminefi.diffusion.finances.gouv.fr/pub/document/18/18943.pdf>
- Responsible Mining Index : <http://responsibleminingindex.org/fr/foundation/>
- Initiative For Responsible Mining Assurance : <http://www.responsiblemining.net/>
- Responsible Mineral Development Initiative, World Economic Forum : [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_MM\\_RMDI\\_Report\\_2013.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_MM_RMDI_Report_2013.pdf)
- Finland's Green Mining Program : [http://en.gtk.fi/export/sites/en/information-services/exploration-news/stakeholder-seminar/presentations/Nurmi\\_Green\\_mining\\_2013.pdf](http://en.gtk.fi/export/sites/en/information-services/exploration-news/stakeholder-seminar/presentations/Nurmi_Green_mining_2013.pdf)
- Natural Resource Canada Green Mining Initiative Program: <http://www.nrcan.gc.ca/minerals-metals/technology/4473>
- Thomson I. et Boutilier R., 2011. Modelling and Measuring the Social License To Operate: Fruits of a Dialogue between Theory and Practice : <http://sociallicense.com/definition.html>
- Frilet M. et Haddow K. 2013. Guiding Principles for Durable Mining Agreements in Large Mining Projects, Journal of energy & natural resources law, v. 31, p. 467-475 : <http://ices.or.ke/wp-content/uploads/2014/10/Guiding-Principles-for-Durable-Mining-Agreements-in-Large-Mining-Projects.pdf>
- International Council on Mining & Metals, Strategy and Action Plan 2016-2018 : <https://www.icmm.com/about-us/strategy-and-action-plan>
- Principes de l'Équateur : <http://www.equator-principles.com/index.php/ep3>
- Global Reporting Initiative : <https://www.globalreporting.org/Pages/default.aspx>
- Charte Européenne de la Mine Responsable (REMIND – Responsible MINING Demonstrations). Cassard *et al.* 2015. High Level Conference of the EIP on Raw Materials, Brussels, January 13th-14th, 2015 : [https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/eip-raw-materials/sites/rawmaterials/files/H2020%20Brokerage%20Event\\_Policy\\_5\\_REMIND\\_BRGM\\_Daniel%20Cassard.pdf](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/eip-raw-materials/sites/rawmaterials/files/H2020%20Brokerage%20Event_Policy_5_REMIND_BRGM_Daniel%20Cassard.pdf)
- Mining Charter - Department of Mineral Resources of South Africa: <http://www.dmr.gov.za/mining-charter.html>
- Jourdan, J.-P., 2002. Documents d'histoire contemporaine, Presse Univ. de Bordeaux, vol. 1. N.45 : Simonin, L., Le paternalisme des sociétés minières, *in* : La vie souterraine (1867), Paris, Hachette, 260 p.
- Subra P., 2008. Géopolitique de l'aménagement du territoire. A. Colin, coll. Perspectives Géopolitiques, Paris, 327 p.
- Le gaz de schiste en Tunisie : aubaine ou cadeau empoisonné, Kapitalis, 5 juillet 2014 : <http://www.kapitalis.com/tribune/23288-le-gaz-de-schiste-en-tunisie-aubaine-ou-cadeau-empoisonne.html>
- Révolte du « peuple des mines » en Tunisie. Le Monde Diplomatique, Juillet 2008 : <http://www.monde-diplomatique.fr/2008/07/GANTIN/16061>
- Shandro J.A., Veiga M.M., Shoveller J., Scoble M. et Koehoorn M., 2011. Perspectives on community health issues and the mining boom–bust cycle. Resources Policy, Volume 36, Issue 2., 178–186.
- Gunzburger Y. et 17 co-auteurs., 2015. Des acteurs face à un projet de transition énergétique : le Gaz de Houille. Colloque « Le défi Transition énergétique. Bilan et prospective sur les recherches dans le domaine de l'énergie », Paris, 24 mars 2015 : [http://www.cnrs.fr/mi/IMG/pdf/gazhouille\\_24mars2015.pdf](http://www.cnrs.fr/mi/IMG/pdf/gazhouille_24mars2015.pdf)

# SOCIETE GEOLOGIQUE DE FRANCE

# 2016

**ADHESION A LA SGF  
& ABONNEMENTS AUX REVUES**  
Période du 01 janvier au 31 décembre 2016

## PARTIE 1

Merci de bien vouloir vérifier/compléter/corriger ce formulaire le plus lisiblement et précisément possible.

Nom :  Prénom :

Date de naissance :  Votre numéro d'adhérent :

**Préciser si vous êtes :**

Etudiant(e)       Demandeur d'emploi       En activité professionnelle       Retraité(e)

**Préciser votre principal domaine d'activité** (un seul à cocher) :

Enseignement et recherche       Environnement et développement durable       Géophysique  
 Hydrocarbures et énergie       Patrimoine géologique (valorisation et protection)       Hydrogéologie  
 Ressources minérales       Géotechnique

**Si vous êtes en activité, préciser votre fonction :**

### Adresse principale

Nom de votre société / organisme / institution :

Adresse :

Complément  
d'adresse :

Code postal :

Ville :

N° de téléphone fixe :

N° de téléphone portable :

E-mail :

### Adresse secondaire

Nom de votre société / organisme / institution :

Adresse :

Complément  
d'adresse :

Code postal :

Ville :

N° de téléphone fixe :

N° de téléphone portable :

E-mail :

### Vos préférences

Principale

Secondaire

Vous souhaitez recevoir les e-mails sur votre adresse :

Vous souhaitez recevoir les courriers à votre adresse :

## PARTIE 2

Je sélectionne mon tarif d'adhésion pour 2016 :								
Ordinaire (personne physique)	Extraordinaire (personne morale)	Jeune professionnel		Demandeur d'emploi <sup>1</sup>		Etudiant <sup>1</sup>		
70 €	280 €	• en CDI moins de 32 ans : 35 € • en CDD moins de 30 ans : 15 €		• avec indemnité : 35 € • sans indemnité : 15 €		15 €		
Nous offrons une année d'adhésion gratuite pour les étudiants en Master. Cette adhésion se fait uniquement en ligne ( <a href="http://www.geosoc.fr">www.geosoc.fr</a> )								
Je choisis mon/mes abonnement(s) à tarif(s) préférentiel(s) pour les revues suivantes :								
Adhérent	Ordinaire		Extraordinaire		Jeune professionnel, demandeur d'emploi, étudiant			
Abonnements	France	Etranger	France	Etranger	France	Etranger		
Bulletin	Papier	68 €	96 €	136 €	164 €	34 €	48 €	
	En ligne	58 €		par GSW*		inclus dans l'adhésion		
Géochronique	Papier	28 €	39 €	56 €	67 €	14 €	19,50 €	
	En ligne	24 €		48 €		12 €		
Géologues	Papier	35 €	48 €	70 €	82 €	17 €	23 €	
	En ligne	30 €		60 €		14 €		
<b>NOUVEAU</b> Pour tout abonnement à la version papier de Géochronique et/ou Géologues, la version électronique vous est offerte.								
<b>Offre DUO - abonnement Géologues + Géochronique</b> (réservée aux demandeurs d'emploi et étudiants)								
Disponibles uniquement en ligne : 20 €							..... €	
Je souhaite apporter une cotisation de soutien déductible de mes impôts <sup>2</sup> pour l'année 2016 :								
10 €	20 €	40 €	60 €	80 €	100 €	Autre montant :		
							..... €	
* Pour les institutions, sociétés et bibliothèques, souscrire l'abonnement directement en ligne sur le site <a href="http://www.geoscienceworld.org">www.geoscienceworld.org</a>							<b>Je règle la somme totale de :</b>	..... €

## PARTIE 3

**Vous souhaitez faire partie d'une ou plusieurs sections de la SGF, merci de cocher les cases correspondantes :**

Alsace  Géologie  Jeunes  Stratigraphie

L'inscription à ces sections n'engendre pas de frais supplémentaires d'adhésion. Vous recevrez les informations relatives aux événements organisés par ces sections.

### Je vous adresse mon règlement :

par chèque à l'ordre de la **SGF**  par bon de commande

par virement bancaire en précisant votre nom dans le libellé (les frais bancaires sont à votre charge) :  
LBP Paris : IBAN : FR93 2004 1000 0100 1737 2N02 092 / BIC : PSSTFRPPPAR

par Carte bancaire :  Visa  Eurocard-Mastercard

Nom : ..... N° : |\_|\_|\_|\_|\_| |\_|\_|\_|\_|\_| |\_|\_|\_|\_|\_| |\_|\_|\_|\_|\_|

Date de validité : ...../..... N° de sécurité : |\_|\_|\_|\_|\_| Signature :  
(3 chiffres au dos de la carte)

<sup>1</sup> Vous êtes demandeur d'emploi ou étudiant, vous devez joindre obligatoirement un justificatif de situation afin de bénéficier des tarifs préférentiels.

<sup>2</sup> Pour les dons consentis à la SGF, et au même titre que la cotisation, vous profitez d'une réduction d'impôt de 66 % en 2015, celle-ci étant retenue dans la limite annuelle de 20 % de votre revenu imposable (Art. 200 du CGI). Ainsi par exemple, un don de 100 € ne vous coûte que 34 euros après déduction fiscale.

Caen - France



24-28  
octobre 2016

# RÉUNION DES SCIENCES DE LA TERRE

25<sup>e</sup> EDITION

[www.rst-sgf.fr](http://www.rst-sgf.fr)

12 grandes thématiques

Conférences plénières

Excursions géologiques

Forums métiers, enseignement

Espace professionnel

Flashez moi !



INTERNATIONAL

INDUSTRIAL

OPEN-MINDED

# WE ARE IMERYS

THE WORLD LEADER IN MINERAL-BASED  
SPECIALTY SOLUTIONS FOR INDUSTRY



Credit photos: Marzotto

■ With more than 16,000 employees, 250 industrial sites in 50 countries and 4,087 M€ in revenue, Imerys transforms a unique range of minerals to deliver essential functions to its customers' products and processes.

■ We are currently recruiting in Engineering and Projects, Geology and Mining, Marketing and Strategy, Finance.

■ We are looking for uncommon women and men who are from a variety of backgrounds, experiences and cultures, who thrive on challenges, and who approach each day with curiosity, open-mindedness and a positive outlook. At Imerys, our employees can have a global career throughout the world or stay locally with opportunities to network internationally.

**With Imerys, the world leader in mineral-based specialty solutions for industry, you will transform to perform.**

[www.imerys.com](http://www.imerys.com)

