



**HAL**  
open science

## Substances critiques : Quel potentiel en France et en Europe ?

Isabelle Duhamel-Achin

► **To cite this version:**

Isabelle Duhamel-Achin. Substances critiques : Quel potentiel en France et en Europe ?. Mines et carrières (Paris), 2022, 299, pp.39-46. hal-03767066

**HAL Id: hal-03767066**

**<https://brgm.hal.science/hal-03767066>**

Submitted on 1 Sep 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# mines & carrières

N° 299  
février 2022  
167<sup>e</sup> année



Mine Rio Tinto de Diavik (diamant),  
des Territoires du Nord-Ouest au Canada.

DOSSIER

## RÉSILIENCE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE APRÈS LA CRISE SANITAIRE

# RÉSILIENCE

## DE L'INDUSTRIE MINÉRALE APRÈS LA CRISE SANITAIRE

L'organisation de la production et les marchés des matières premières minérales ont été bousculés par la longue pandémie de Covid-19. Le prix des matières premières n'étant plus le seul élément décisif, les professionnels de l'industrie minérale ont cherché des solutions. Et ils en ont trouvé. Tout comme les administrations et les diverses instances dirigeantes, ils se sont adaptés et ont dû tirer les leçons de cette nouvelle "normalité".

Les circuits courts et la production interne ont été glorifiés, mais est-ce vraiment possible pour toutes les substances ? Et quels sont les avantages et les inconvénients de produire des métaux et des matériaux si les filières industrielles ne sont ni proches, ni contrôlées ?

Les exemples d'avant crise concernant les terres rares produites en France, puis arrêtées, ou le stockage sans futur de réutilisation du néodyme issu du recyclage des aimants d'éolienne posent de vraies questions sur la réalité d'une nouvelle politique pour la sécurité de nos approvisionnements français et européens en matières premières.

Quand les prix des matières premières minérales étaient au plus bas, la tentation fut forte de ne pas bouger étant donné l'importante baisse du besoin de l'industrie minérale en produits. Et les prix des matières premières sont rapidement redevenus très élevés avec la reprise économique en Asie.

Entre gestion des risques d'approvisionnement stratégique et continuité tant des affaires que des flux financiers, quels sont les bons choix ? L'enjeu du redémarrage des chaînes d'approvisionnement repose sur leur synchronisation avec les impératifs financiers. Désormais, à quelle échelle penser l'approvisionnement en matières premières : monde, pays ou territoire ? De nouvelles technologies, innovantes, protectrices et planifiées sont-elles à imaginer ?

Les articles de ce dossier correspondent aux interventions faites durant le congrès-exposition 2021 de la Sim à Lille, lors d'un atelier animé par Jack Testard, géologue et vice-président de la section exploitation de la Sim.

**39**

Substances critiques : quel potentiel de ressources en France et en Europe ?

**47**

Les industries extractives confrontées à une transformation profonde

**52**

Diversification et responsabilisation, ou comment Orano a traversé la crise sanitaire

**56**

Les financements de l'industrie minière à l'ère de la transition écologique

**62**

Quelle stratégie de sécurisation des approvisionnements pour l'État ?

# SUBSTANCES CRITIQUES

## Quel potentiel de ressources en France et en Europe ?

La crise sanitaire et économique a accentué et renforcé le constat de la dépendance de la France et de l'Europe aux importations de matières premières. Une réflexion sur le mode de gestion des ressources et la réappropriation de la production de matières premières sur le territoire européen et national s'impose. Il est déterminant de savoir quelles substances sont les plus critiques. Comment les trouver sur notre territoire ? Quelles habitudes peuvent être changées ?

**L**a stabilité économique et la compétitivité industrielle de l'Europe et de la France dépendent des importations de matières premières (ou d'objets en contenant), et plus particulièrement en certaines substances stratégiques dont les productions exclusivement externes nous rendent vulnérables. Cette prise de conscience ne date pas d'hier, mais la crise sanitaire et économique a accentué et renforcé ce constat lorsque les secteurs de l'aval ont subi une rupture en produits semi-transformés en lien avec des ruptures d'approvisionnement en ressources minérales en début de chaîne de valeur. La chute des cours des matières premières pendant le pic Covid ou les restrictions sanitaires pour enrayer l'épidémie ont contraint à la fermeture partielle ou temporaire de mines et d'usines de première transformation, en plus des freins associés au transport. La reprise à pleine capacité de l'activité industrielle dans le monde et en Europe dépend pour partie de la bonne santé du secteur minier des pays producteurs.

Pour faire face à cette réalité, une réflexion sur notre mode de gestion des ressources et la réappropriation de la production de matières premières sur le territoire européen et national s'impose. Quelles sont ces substances qui sont les plus critiques pour nos secteurs industriels ? Quels sont les paramètres qui permettent d'évaluer notre vulnérabilité et les tendances du marché international depuis la crise sanitaire ? Avons-nous un réel potentiel en ces substances critiques sur notre territoire ? Où sont situés les secteurs favorables à explorer en France et en Europe ? Comment évaluer la part de risques et les tensions persistantes, ou notre capacité de résilience ?



Isabelle Duhamel-Achin est géologue, titulaire d'un doctorat en géosciences obtenu à l'université de Lorraine en 2010. Elle a d'abord travaillé en R & D pour l'industrie minière dans le domaine de l'exploration de l'uranium en appui à Orano Mining (ex-Areva), puis elle a été en charge du laboratoire de caractérisation des minerais et matériaux au centre de recherche technique d'Eramet pour l'amélioration des procédés de traitement minéralurgique et métallurgique. En 2017, elle a rejoint le BRGM en tant que responsable d'unité à la direction des géoressources avant de devenir en 2021 directrice régionale de la région Paca.



Les demandes et la consommation de matières premières en lien avec les besoins pour la mobilité électrique ont été démultipliées par l'effet de la pandémie. Ici, l'exploitation Comibol de lithium en Bolivie.

## L'évaluation de la criticité des substances minérales

L'évaluation de la criticité des substances minérales est un outil d'aide à la décision à destination des pouvoirs publics et des industriels. La vulnérabilité de la France, et celle de l'Europe plus largement, réside principalement dans le fait que les entreprises sont maintenant principalement orientées sur l'assemblage de pièces manufacturées et façonnées ailleurs ou produites à partir de matières premières importées qui viennent presque exclusivement de pays miniers situés en dehors du sol européen.

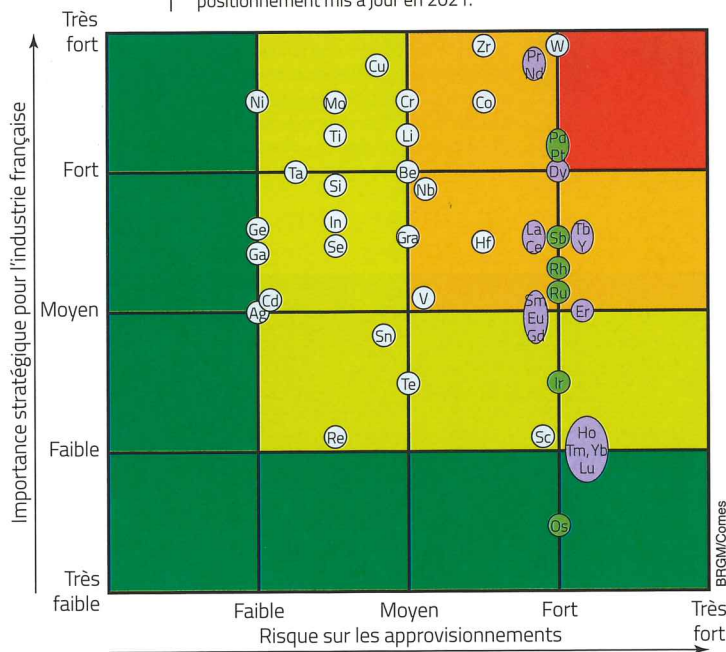
La méthode d'évaluation de la criticité en France a été développée par le BRGM dans le cadre des travaux du Comité pour les métaux stratégiques (Comes) afin d'analyser les risques sur les approvisionnements en certaines substances à l'échelle nationale et de mieux cibler les leviers d'actions à mettre en place pour les sécuriser. Ce comité a été créé après la crise diplomatique sino-japonaise de 2010, lorsque la Chine avait suspendu ses exportations de terres rares vers le Japon et fixé des quotas au reste du monde alors qu'elle détenait 87 % de la production mondiale. Cet embargo

avait déstabilisé le marché international et provoqué une hausse sans précédent des prix. Depuis cette crise, le comité continue de maintenir une veille active pour un ensemble de substances aux forts enjeux stratégiques.

### Les facteurs de criticité

L'appréciation de la criticité ou non des substances minérales dépend de nombreux facteurs dont certains sont intrinsèquement liés à la disponibilité des ressources et à l'équilibre souvent précaire entre l'offre et la demande. Une ressource minérale n'est pas critique du jour au lendemain. Elle le devient en fonction de contraintes liées à l'évolution du marché, parfois causée par un accroissement de la demande qui devient supérieure aux capacités de production, à un changement d'usages ou à un marché en tension. La méthodologie matricielle de calcul française développée par le BRGM est basée sur 10 critères qui permettent d'évaluer la criticité des 34 substances étudiées et de les hiérarchiser sur une échelle binaire (figure 1). Cette matrice correspond à une introspection des besoins et des enjeux stratégiques pour les filières industrielles françaises mise en regard des risques sur leurs approvisionnements. Elle est le reflet d'une image statique du marché à un instant T, en fonction de la consommation, des gisements et réserves minières connus et découverts dans le monde, ainsi que des moyens technologiques et techniques d'extraction et de recyclage disponibles qui s'améliorent constamment.

1. Matrice d'évaluation de la criticité française développée par le BRGM dans le cadre des travaux du comité pour les métaux stratégiques (Comes). Substances étudiées et positionnement mis à jour en 2021.



- Zone à forte criticité. Actions conservatoires à prendre par l'État.
- Zone à forte criticité. Veille active recommandée (observation continue des marchés, alertes, étude de scénarios de parade).
- Zone à criticité moyenne. Veille spécialisée recommandée (rédaction d'un rapport mis à jour annuellement).
- Zone à criticité faible. Veille ponctuelle recommandée.
- Platinoides (éléments du groupe du platine)
- Terres Rares
- Gra Graphite naturel

### La criticité, une notion qui demeure subjective

Une substance ne sera donc pas nécessairement critique de manière pérenne et ne générera pas le même niveau de risque en cas de rupture de distribution suivant l'usage considéré. Une substance critique est caractérisée par des propriétés intrinsèques remarquables qui la rendent indispensable à la fabrication des produits qu'elle compose, non substituable par d'autres dans les applications technologiques et sans laquelle les fonctionnalités des matériaux ne seraient pas aussi performantes et compétitives. Les enjeux sont d'autant plus forts lorsque la substance est également considérée comme stratégique si elle est indispensable par exemple à la politique énergétique d'un État, à sa défense, ou aux acteurs qui composent son tissu industriel et contribuent de façon majeure à son économie. Cette notion reste subjective en fonction du point de vue et de l'échelle à laquelle on l'appréhende, celle d'une entreprise, d'un secteur de production, variable d'un pays à un autre suivant les ressources disponibles sur le territoire considéré ou des relations internationales et partenariales nouées.

### Les substances critiques identifiées

Parmi les substances les plus critiques pour la France, on distingue celles nécessaires à la fabrication additive d'aciers spéciaux, comme le tungstène et le titane, uti-



lisés notamment dans l'aéronautique et l'automobile, les métaux associés aux technologies de production énergétique décarbonée, comme les terres rares lourdes pour la fabrication d'aimants permanents dans les éoliennes en mer, ou encore le lithium, le cobalt et le graphite dans les batteries des véhicules électriques. Les demandes et la consommation de matières premières en lien avec les besoins pour l'automatisation, le développement de la digitalisation et du numérique, l'électrification des infrastructures et des réseaux, ou encore en lien avec la mobilité électrique ont été décuplées par l'effet de la pandémie. Cette croissance de la demande mondiale en petits métaux, avec en parallèle les difficultés en approvisionnement, ont creusé les écarts et accentué la perception de la criticité en ces substances.

À l'échelle européenne, ce ne sont pas moins de 83 substances qui sont étudiées par le groupe d'experts de la commission du JRC (*Raw Material Information System* : <https://rmis.jrc.ec.europa.eu>) : 30 matières premières sont considérées comme critiques, parmi lesquelles 26 l'étaient déjà avant la pandémie sur la liste de 2017 et 3 substances n'étaient pas encore considérées critiques auparavant (bauxite, lithium et titane). Le strontium utilisé dans la robotique et les technologies drones n'était pas non plus encore étudié.

En période de risques accrus de rupture des approvisionnements à l'échelle mondiale ou d'arrêt brutal de la fabrication de composants comme pendant le plus fort de la pandémie, la connaissance de leviers de négociation pour les achats ou échanges, la cartographie des acteurs secondaires pour lier de nouvelles



*« La pandémie a révélé la fragilité des secteurs industriels fortement dépendants de l'industrie extractive et de première transformation, des importations de pièces détachées précurseurs de nos technologies et issues de la transformation des matières premières. »*

relations, ou même les solutions temporaires d'appoint comme la localisation de gîtes dormants plus petits ou moins riches, qui n'étaient pas économiquement rentables auparavant, peuvent se révéler décisives. Une bonne connaissance des goulots d'étranglement des chaînes de production de l'amont à l'aval et l'identification des risques sont primordiales pour la survie d'une entreprise ou son équilibre financier ainsi que l'élaboration d'une stratégie à long terme.

### **La réévaluation des potentialités**

La localisation des minerais n'est pas homogène à la surface de la Terre, ni également répartie entre les domaines géographiques et les territoires. L'emplacement des gisements et les réserves en terre d'un pays en certaines substances dépendent de son histoire géologique et de la constitution de concentrations dans la croûte terrestre qui ont mis souvent des millions d'années à se former. En considérant cette temporalité de la genèse des concentrations économiques, les ressources minières sont donc vues comme non renouvelables à l'échelle de la vie humaine. Cela crée inéluctablement des disparités et pendant les périodes de crise globale, potentiellement des jeux de pouvoirs ou des tensions géopolitiques. Ces tensions sont d'autant

2. Sous-produits et co-produits associés aux principales substances exploitées.

Substance principale	Al	Au	Be	C	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Nb	Ni	P	Pb	Pt	Sb	Sn	Ti	TR	U	W	Zn
Co-produits partiels		Cu			Fe	Au Ni Zn U Sn		K Mg B	Fe		Cu Fe		Zn	Pd	Au	W		Nb Ti	Cu	Sn	Pb Cu
Sous-produits aussi exploités ailleurs en substance principale		Sb			Pt Pd Rh	Pt Pd Rh	TR	Be		TR	Pt Pd Nb	U TR Nb	Sb	Ni Cr		Nb TR Li	Sn TR	P		Be Ta	
Sous-produits exploités principalement en sous-produits		Ag				Co Ag		Ta I		Ta	Co		Ag					Ta			
Sous-produits exploités uniquement en sous-produits	Ga Sc	As Te		Ga Ge Se V		Mo Re Se Te					Rh Ru Ir Os Sc		Bi TI	Rh Ru Ir Os	As		Zr Hf V	Th	V	As	In Ge Cd TI

BRGM/Comas - M. Lejeune, 2021

NB1 : les associations ci-contre sont les associations les plus communes, mais chaque gisement est particulier et ce tableau ne peut pas être exhaustif.

NB2 : les différents co- ou sous-produits d'une substance principale donnée peuvent ne pas être associés entre eux, car ils correspondent à des types de gisements différents. Ainsi par exemple pour le cuivre, les gisements de type porphyry peuvent fournir Au, Mo, Re en sous-produits, les gisements de type sediment-hosted Co (Copperbelt) ou Ag (Pologne) ; les gisements de type Ni-Cu sulfuré Ni, Co, Pt, Pd, Rh ; les gisements de type VMS Zn, Sn ; les gisements IOCG U : Pour le lithium, les gisements de type salar peuvent fournir K, Mg, B, I ; et les gisements de type minéraux Ta, Be, etc.

plus fortes entre ceux qui détiennent le monopole des gisements en métaux qui sont critiques et ceux dépendants qui utilisent les matières premières minérales sans en produire sur leur territoire.

La cartographie du potentiel minéral minier primaire en France et en Europe n'a pas beaucoup changé depuis plusieurs décennies. Non pas parce que le potentiel s'est amoindri ou n'est plus considéré comme étant intéressant, mais parce que l'ouverture des échanges extérieurs qui permettait d'obtenir des matières produites ailleurs pour moins cher et les investissements en exploration sur notre territoire se sont progressivement taris. Pourtant, l'évolution des besoins dans les technologies émergentes influence les éléments recherchés qui maintenant ne sont plus les mêmes que lorsque la France était encore un pays minier. Les petits métaux critiques recherchés aujourd'hui n'étaient pratiquement pas analysés lors de l'inventaire minier national réalisé par le BRGM en France métropolitaine entre 1975 et 1992, puis dans certains Drom (Guyane et Nouvelle-Calédonie). La capacité d'extraction en métallurgie n'est également

pas la même qu'il y a 20 ans. Il est donc intéressant, au regard de ces petits métaux et substances critiques d'aujourd'hui, de réévaluer les grands domaines géologiques présentant encore un potentiel important, que celui-ci soit primaire (extension ou prolongation de projets connus, concentration en co-produits ou sous-produits à évaluer) ou secondaire (issu du retraitement de résidus miniers par l'amélioration des capacités de récupération ou grâce à l'exploitation de déchets de la mine urbaine).

### Les PER pour des substances critiques

En juin 2021 (consultation des données du cadastre minier sous Camino), sur les 176 titres miniers en France, seuls 23 permis étaient encore actifs en métropole, 20 avec des autorisations d'exploitation et 3 concernaient des permis d'exploration (hors nouvelles demandes en instruction ou en cours de modification). La grande majorité des titres miniers en France concerne l'or en substance principale (85 %), particulièrement en Guyane qui concentre les principaux investissements d'exploration. La valeur mar-



Cris Sangster/Scotgold resources LTD

Le projet européen H2020 Ion4Raw a pour objectif de tester un procédé innovant de ionométrie sur des minerais et résidus miniers exploités habituellement pour le cuivre ou l'or, afin d'en extraire les petits métaux auxiliaires présents en faible concentration (antimoine, molybdène, bismuth, tellure, platine ou cobalt). Ici, la mine d'or de Cononish en Écosse, où le BRGM a prélevé des échantillons.

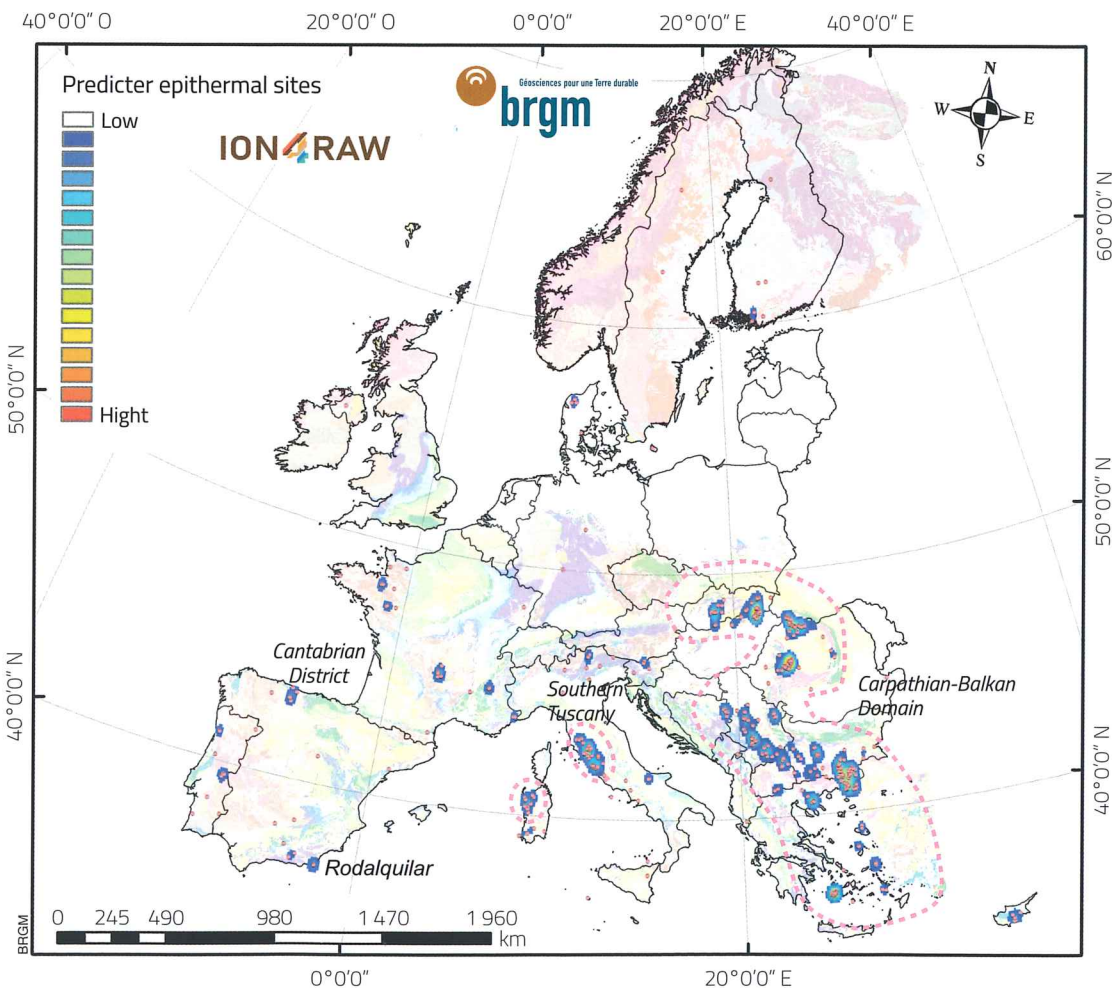
chande de l'or est toujours considérée comme refuge et relativement stable par rapport à la volatilité extrême des autres petits métaux; le prix de l'or a même connu une forte croissance au plus fort de la pandémie alors même que la vente de bijoux aux particuliers s'effondrait. Seuls 18 PER (permis exclusifs de recherche) concernent une ou plusieurs substances critiques distinctes dans les demandes d'autorisation d'exploration : niobium, tantale, lithium, tungstène, étain, molybdène, platinoïdes, terres rares, bismuth, indium... Ces petits métaux sont souvent connexes, en co-produits ou sous-produits, et associés à des substances principales métalliques qui font la valeur principale économique des gisements (figure 2). La valeur seule rapportée par ces petits métaux ne serait pas suffisante pour la rentabilité des projets.

À l'échelle européenne, la plupart des opérateurs miniers des gisements exploités n'analysaient pas les teneurs en ces petits métaux associés, car leurs propriétés dans les applications des nouvelles technologies n'étaient pas encore connues lors du développement des projets ou sont apparues après et plus récemment lors des deux dernières décennies.

### Apport de la cartographie prédictive

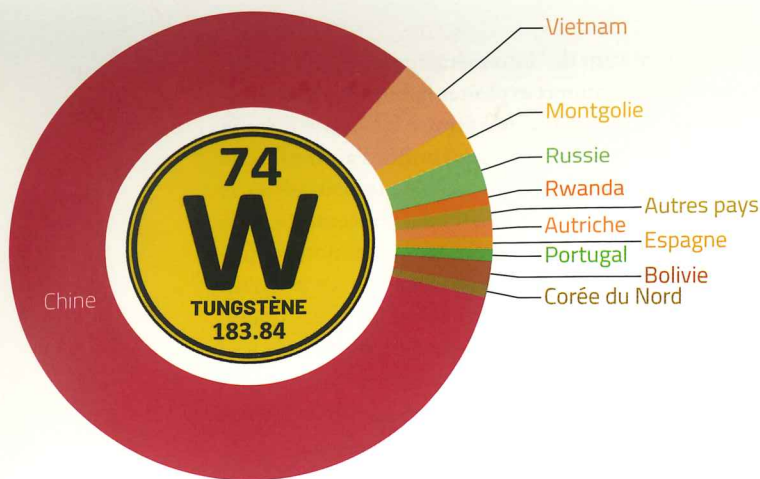
Dans le cadre du projet H2020 Ion4Raw, initié pendant la pandémie grâce aux fonds de recherche européens, l'objectif principal est de tester un nouveau

procédé innovant de "ionoméallurgie" sur des minerais et résidus miniers exploités habituellement pour le cuivre ou l'or afin d'en extraire les petits métaux auxiliaires. Ces petits métaux comme l'antimoine, le molybdène, le bismuth, le tellure, le platine ou le cobalt sont présents mais en faibles concentrations et sont non valorisés pour le moment. La ionoméallurgie est un procédé hydrométallurgique récent faisant appel aux liquides ioniques utilisés pour des opérations de lixiviation, d'extraction liquide/liquide, qui permettent la production électrolytique de métaux impossibles à récupérer habituellement en milieu aqueux ou nécessitant sinon des solutions plus agressives. Afin de cibler les opérateurs miniers à démarcher et les gisements européens les plus favorables sur lesquels tester cette solution, le BRGM a réalisé dans le cadre de ce projet une étude de cartographie prédictive à partir du traitement statistique des anciennes données géologiques et minières. La méthode développée permet de réévaluer le potentiel en métaux critiques des gisements connus et déjà exploités, malgré les hiatus analytiques historiques existants en ces substances. La cartographie prédictive utilise les méthodes développées dites "data driven" basée sur les lois de probabilité et le traitement statistique des informations géoscientifiques par une analyse multicritère. Les cartes du potentiel minéral produites dans le cadre de ce projet (figure 3) permettent par les



3. Carte prédictive du potentiel des gîtes épithermaux en Europe basée sur l'association du potentiel en sous-produits Sb, Bi, Te, Ge, Se et In (modifiée de Gourcerol et al., 2021 ; H2020 Ion4Raw ; d'après la méthode géostatistique DBQ développée par le BRGM).





4. Répartition de la production minière mondiale de tungstène en 2020 (Source : d'après les données de l'USGS, 2021).

BRGM

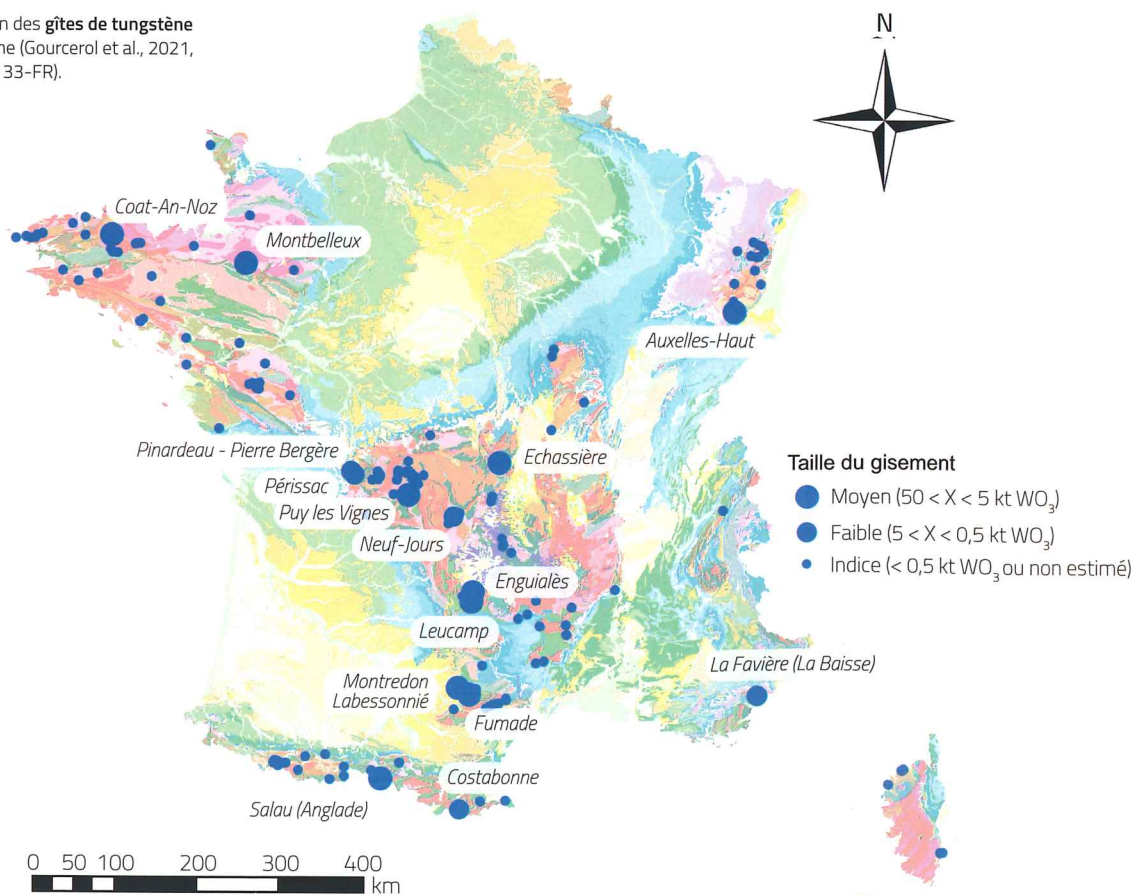
connaissances métallogéniques de définir les domaines favorables à la présence de métaux critiques associés aux cortèges polymétalliques généralement rencontrés dans les grandes familles de gisements et de cibler les secteurs géographiques et géologiques où prospecter suivant les affinités connues des métaux. Les résidus miniers considérés comme stériles peuvent ainsi encore contenir des métaux non valorisés mais qui sont devenus critiques de nos jours. Les terils miniers de ces sites peuvent être, d'autre part, rela-

tivement accessibles car ils sont déjà présents en subsurface, ce qui peut également réduire les coûts opérationnels du retraitement (nonobstant la valeur intrinsèque souvent associée au métal principal et à la teneur de coupure).

### L'exemple du tungstène

Des ressources primaires en métaux critiques sont également encore présentes sous nos pieds en France métropolitaine. Parmi les substances stratégiques pour l'industrie française, le tungstène est un des métaux dont les approvisionnements sont le plus en tension car il reste essentiellement produit en Chine qui en assure 82,5 % de la production mondiale (d'après l'USGS, 2021 ; figure 4). Les échanges internationaux concernent soit des concentrés de tungstène (~65 %  $WO_3$ ), du paratungstate d'ammonium (APT), du ferrotungstène (~75 % W), des oxydes de tungstène ou de la poudre de carbures cémentés. Le tungstène est utilisé dans de nombreux secteurs industriels pour la fabrication d'outils de découpe ou de pièces résistantes à l'usure dans l'automobile, l'aéronautique (superalliages), la production d'électricité (turbines), le spatial et la défense (blindage). Le tungstène est encore majoritairement extrait des mines ; seulement 20 % du tungstène utilisé est issu du recyclage et les substituts montrent de moins bonnes per-

5. Carte de la répartition des gîtes de tungstène en France métropolitaine (Gourcerol et al., 2021, rapport BRGM/RP-71133-FR).

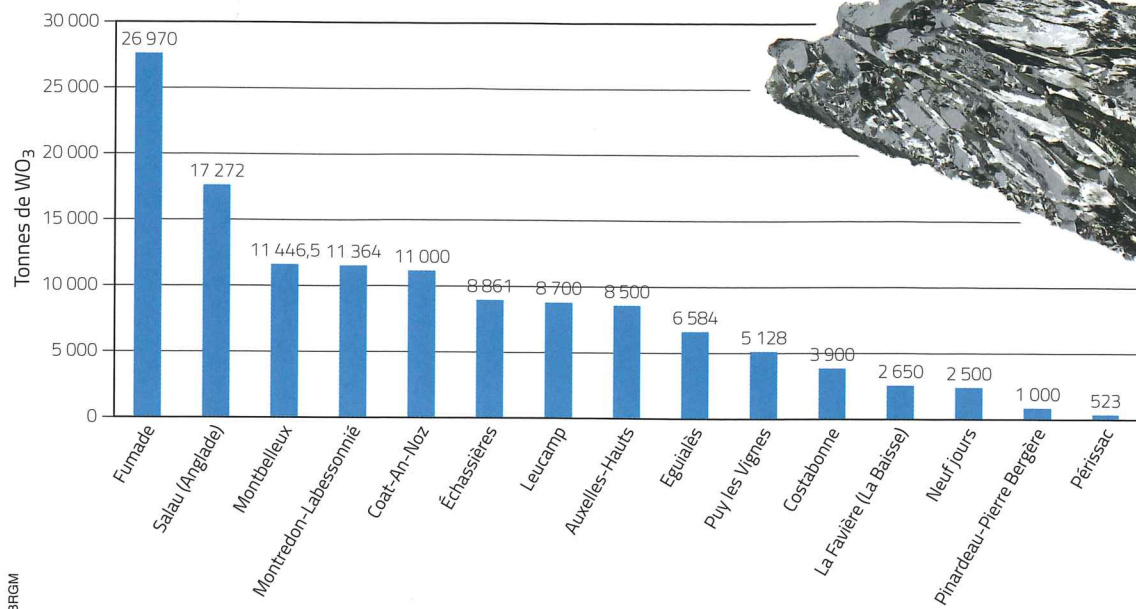


0 50 100 200 300 400 km

Source des données :  
Base de données Armada / ProMine au 09/06/2021  
Carte géologique de la France au 1:1 000 000



BRGM



6. Histogramme présentant le potentiel en ressources de tungstène dans les principaux gisements français connus (BRGM). Réévaluation réalisée par Gourcerol et al. (2021) dans le cadre des travaux d'appui aux politiques publiques pour le ministère de la Transition écologique.

performances. Historiquement, la France en a produit 20,4 ktW entre 1886 et 1986 à partir de 8 mines principales. Parmi les sites connus en France (figure 5), le gisement de Fumade dans le Tarn n'a encore jamais été exploité et les réserves y sont intactes. Les ressources disponibles associées à un skarn à scheelite ont été réévaluées par le BRGM sur la base d'une modélisation 3D des anciennes données disponibles : ressources inférées de 3,07 Mt à des teneurs moyennes variables entre 0,6 à 1,4 %, soit pratiquement 27 kt WO<sub>3</sub> (Audion et al., 2013 ; figure 6). Sous réserve de la démonstration d'essais minéralurgiques et d'une qualité suffisante, ce type de minerai pourrait conforter une filière de production d'APT déjà existante en Europe. En 2021, la demande est supérieure à l'offre et l'Europe ne produit plus que 3 035 tW par an (3,4 % de la production mondiale), avec 4 sites d'extraction encore actifs et seulement deux de type skarn à Mittersill en Autriche et Los Santos en Espagne.

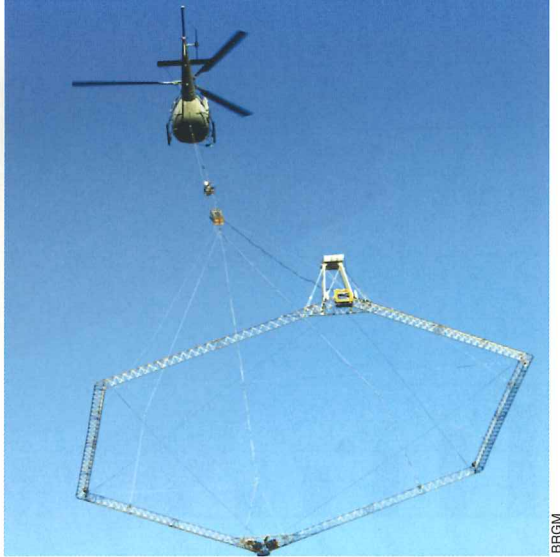
### Leçons à tirer de la pandémie : vers la réappropriation des chaînes de valeur ?

La pandémie a révélé la fragilité des secteurs industriels fortement dépendants de l'industrie extractive et de première transformation, des importations de pièces détachées précurseurs de nos technologies et issues de la transformation des matières premières. Ces matières premières restent encore essentiellement primaires, issues des mines et des carrières. La situation engendrée par la crise sanitaire a modifié considérablement les équilibres internationaux qui étaient en place depuis la mondialisation des échanges à la fin de la Seconde Guerre mondiale. Porter un nouveau regard dans le raisonnement global amène à se questionner sur la limitation à terme de la croissance mondiale et surtout sur la nécessité d'avoir une consommation plus raisonnée, qui pourrait se mettre en place en rationalisant notre consommation, en diversifiant les sources de nos approvisionnements et en se réappropriant les plus vulnérables.

Pour tendre vers l'objectif commun qui consiste à maintenir l'approvisionnement de la population en biens essentiels et celui du secteur industriel au sens large en substances stratégiques et critiques pour la stabilité des chaînes de production et l'économie du pays, quatre leviers et actions peuvent être mis en place :

- Tout d'abord, le maintien d'une veille active, permanente et organisée, structurée et collective pour être en capacité de se projeter sur l'évolution rapide des marchés ; c'est en ce sens que le BRGM a proposé parmi ses recommandations en contribuant au rapport Varin la constitution d'un observatoire économique national ;
- Deuxièmement, l'innovation reste nécessaire pour maintenir la compétitivité industrielle avec l'accélération de la digitalisation, l'automatisation et la robotisation des chaînes de production pour optimiser et rationaliser les flux de matières, mais aussi améliorer la capacité de recyclage et de collecte des déchets industriels et des résidus contenant encore des ressources récupérables et valorisables comme ceux de la mine urbaine ; il reste primordial de développer de nouvelles applications ou technologies moins gourmandes en ressources naturelles et moins polluantes. Des mesures conservatoires peuvent être trouvées en conjuguant les efforts de R & D et en concentrant les investissements sur des actions spécifiques, via le plan de relance ou la mise en œuvre de mesures associées à la loi anti-gaspillage et le développement du recyclage pour une économie plus circulaire ;
- Sur la production primaire, des potentialités restent encore inexploitées en France et en Europe : plutôt des ressources en métaux critiques de petits tonnages relatifs soit à des anciens gisements majeurs déjà exploités, soit à des gisements écartés faute de volumes suffisants mais à des teneurs intéressantes qui laissent envisager des concentrés de qualité. D'autres gisements ou extensions restent aussi probablement encore à découvrir pour peu que l'on relance l'exploration du territoire qui n'a pas été reconduite à l'échelle nationale en France depuis près de 30 ans. Les études de car-

D'autres gisements ou extensions restent à découvrir pour peu que l'on relance l'exploration du territoire. Ci-contre, campagne de géophysique aéroportée menée par le BRGM.



tographie prédictive réalisées par le BRGM doivent être complétées par de nouvelles campagnes de prospection. La relance d'un programme d'exploration nécessite des investissements importants sur le long terme, mais également en parallèle des mesures conservatoires pour maintenir des infrastructures innovantes et performantes afin de permettre le redéploiement minier ciblé, en partageant et en mettant en commun les moyens européens. En attendant, les petits gisements déjà identifiés ne suffiront pas à être autonomes, ni indépendants ;

- Une démarche de prise de participation active dans des projets avancés à l'étranger semble le moyen le plus rapide d'assurer la résilience et la sécurisation des chaînes de production dans une période encore teintée par les variants du Covid. Le groupe automobile Renault a par exemple signé en août 2021 un partenariat avec le producteur australien de lithium Vulcan Energy pour assurer l'approvisionnement en lithium des batteries de ses véhicules électriques. D'autres alliances doivent être créées pour assurer la pérennité des chaînes de production des grands groupes industriels français.

## La mutation nécessaire de nos modes de vie

Les risques sur nos approvisionnements et la vulnérabilité de la France et de l'Europe ont été amplifiés par les conséquences de la pandémie sur l'économie mondiale, alors qu'elles étaient déjà fragilisées par la domination de la Chine dans la production des matières premières et des pièces semi-transformées. Le changement de paradigme sur nos modes de vie et les limites de la capacité de production amènent finalement à se positionner également sur la préséance des intérêts globaux environnementaux et sociétaux par rapport aux intérêts nationaux et économiques. Il s'avère tout aussi important de sensibiliser les décideurs et les consommateurs de la jeune génération sur la provenance et les quantités de matières utilisées dans nos objets du quotidien.

Les transitions énergétique et numérique ne sont pas neutres et nécessitent de grandes quantités de matières, matériaux et métaux. Il est certain que ces transformations nécessitent aussi des changements dans notre société, notre mode de consommation et la fabrication de nos services et produits pour ne pas déporter notre dépendance aux énergies fossiles sur d'autres dépendances en métaux dont les approvisionnements sont fragiles. Il serait illogique de penser que nous pourrions continuer à avoir une croissance positive en maintenant nos modes de vie actuels, tout en remplaçant complètement l'extraction d'énergie fossile par celle en métaux et matériaux nécessaires à la production d'énergie renouvelable. La sobriété et le changement dans nos modes de vie constituent une mutation nécessaire afin de réduire notre consommation. Cette mutation s'opère déjà en se déplaçant moins grâce aux outils numériques, en prenant en compte et en réduisant les distances de transport pour tendre vers une meilleure gestion des flux de matières en circuits plus courts. Des améliorations dans notre façon d'organiser les chaînes d'approvisionnement et les boucles de recyclage sont possibles. De même, optimiser également l'efficacité énergétique de l'extraction et valoriser tous les éléments présents dans les gisements déjà exploités sont des solutions qui, toutes conjuguées, constituent un bon point de départ vers une résilience plus durable. ■

*Avec Isabelle Duhamel-Achin, BRGM*

### Références bibliographiques

- Cassard D., Bertrand G., Billa M., Serrano J.J., Tourlière B., Angel J.M., Gaël C. (2015) ProMine Mineral Database: New tools to assess primary and secondary mineral resources in Europe, in: P. Weihed (ed.), 3D, 4D and predictive modelling of major mineral belts in Europe. Mineral Resource Reviews, pp. 9-58.
- Deschamps Y., Vadala P., Gentilhomme Ph., avec la collaboration de Y. Guillou, M., Joubert, C. Leduc, J.-L. Marroncle et C. Gateau (2002) L'inventaire minier de la France métropolitaine, BRGM/RP-51455-FR, CD-Rom.
- Gourcerol, B., Gutierrez, T., Pochon, A., Picault, M., Gloaguen E., Fournier E. (2021) Évolution Base de données "Gisements France" : Atlas des substances critiques et stratégiques. Rapport final. BRGM/RP-71133-FR, 67 p., 31 fig., 18 tabl.
- Gourcerol, B., Bertrand G., Bailly, L., Moreau P., Duhamel-Achin, I., Négrel, P., Warscheid, W. (2021) Mapping of by-product potential in mineral deposits ; H2020 ION4RAW Report D2.1, 32 p.
- Audion, A.S. (2013) Étude pilote d'une cible minière en métropole : le gisement de tungstène de Fumade (Tarn). Rapport final. BRGM/RP-62718-FR, 78 p., 35 fig., 3 tabl., 8 ann., 1 CD.
- U.S. Geological Survey 2021 Mineral Commodity Summaries 2021, DOI: 10.3133/mcs2021; 200 p.