



## DÉPENDANCE STRATÉGIQUE AUX MATÉRIAUX CRITIQUES DE LA BITD FRANÇAISE

La sécurisation des chaînes d'approvisionnements est un enjeu stratégique pour les entreprises de la défense, à la fois immédiat et durable. Toutes les études concluent à une très forte augmentation des besoins sociétaux, écologiques et économiques en matériaux critiques dans les prochaines décennies. Dans une période de vives tensions géopolitiques, il en va également de la souveraineté et de l'indépendance de la BITD française et européenne. Les métaux remplissent désormais des fonctions critiques dans la plupart des hautes technologies employées dans nos économies modernes. Près de six matériaux sur dix utilisés dans la BITD sont critiques. L'exemple du tungstène est révélateur des enjeux en question.

### UNE MULTIPLICITÉ DE TYPOLOGIES DE MÉTAUX

Il existe un nombre important de classifications des métaux, attachées ou non à des critères économiques :

- les typologies de nature physico-chimique (métaux de base et métaux précieux, métaux ferreux et métaux non ferreux, la classification de Mendeleïev) ;
- les typologies de nature géologique (Classification de Craig et al (2001)) ;
- les typologies de nature économique : métaux majeurs et métaux mineurs, classification de l'United Nation Environment Program (UNEP), métaux selon les secteurs d'usage (métaux verts, métaux high-tech), classification du BRGM, selon la valeur de la production, etc. ;
- les typologies de nature stratégique :

\* Les métaux stratégiques et métaux non stratégiques : les métaux indispensables à la politique économique d'un État, à sa défense, à sa politique énergétique. Originellement, le terme de métaux stratégiques désigne les métaux qui sont associés à des usages militaires, qui sont difficilement substituables et cumulent des risques de ruptures d'approvisionnement du fait de l'absence de production nationale. Cette classification a servi à justifier la constitution de stocks stratégiques ou de partenariats privilégiés avec certains pays producteurs (NRC, 2007).

\* Les métaux critiques et métaux non critiques : la criticité d'un métal n'est pas identique à son caractère stratégique. La méthodologie est globalement la même que pour les métaux stratégiques, mais on évalue dans cette classification l'importance d'un métal par sa place dans la chaîne de valeur de l'économie nationale, d'un secteur, ou d'une entreprise.

### ANALYSE DE LA CRITICITÉ DES MÉTAUX

Un métal ou un minéral est « critique », s'il est à la fois essentiel dans son usage et sujet à d'éventuelles restrictions d'approvisionnement. Il existe de très nombreuses études sur la mesure de cette criticité, aussi bien de la part d'institutions, que de certaines entreprises.

La première « matrice de criticité » du genre n'a été établie aux États-Unis qu'en 2008 (National Research Council) sur la base d'un double critère : l'importance économique de la ressource et le risque de restrictions d'approvisionnement potentiel. Une troisième dimension a été introduite récemment : les enjeux écologiques liés à la production de la matière première minérale (GRAEDEL T. E. et al., 2015). Les conséquences écologiques de la production d'un matériau incluent, sur la base des inventaires d'analyses de cycles de vie, les impacts sur les écosystèmes et sur la santé humaine (Figure 1).

Il n'existe pas de criticité « universelle ». Plusieurs dimensions sont à prendre en compte : géographique (échelle mondiale, régionale ou nationale), secteur d'usage (pays, filière, entreprise, une technologie), et temporelle (progrès technique, nouveaux processus de production, nouveaux produits).

Une pluralité d'indices et de modes d'agrégation sont utilisés pour quantifier les concepts de risques d'approvisionnement, d'importance économique et de conséquences environnementales. Cette hétérogénéité des indicateurs rend difficile les comparaisons entre les résultats des différentes études (HAYES S. M., MCCULLOUGH ERIN A, 2018).

L'Observatoire Économique de la Défense diffuse EcoDef par messagerie électronique (format pdf).

Si vous êtes intéressé par cette formule, veuillez adresser un courriel à :

[daf.oed.fct@intra.def.gouv.fr](mailto:daf.oed.fct@intra.def.gouv.fr)

Découvrez toutes les publications du secrétariat général pour l'administration sur :

Internet : [www.defense.gouv.fr/sga](http://www.defense.gouv.fr/sga)

Intranet : [www.sga.defense.gouv.fr](http://www.sga.defense.gouv.fr)



L'Observatoire Économique de la Défense tient à remercier le département des Statistiques et des Études Économiques de la Direction Générale des Douanes et Droits Indirects (DGDDI) pour l'extraction et l'expertise des données de la Douane sur le commerce extérieur, ainsi que MM. Gaëtan LEFEBVRE et Mathieu LEGUERINEL du BRGM, pour leur travail de relecture et leurs conseils avisés.

Par ailleurs, on peut distinguer deux grandes variantes d'évaluation de la criticité des matières premières minérales (MPM) :

- la vision dichotomique : une MPM est « critique » ou « non critique », avec un effet de seuil ;
- la vision américaine originelle (GRAEDEL T. E. et al.)<sup>(1)</sup> : une MPM est plus ou moins critique.

Le BRGM<sup>(2)</sup> réalise des études sur la criticité des MPM (31 fiches de criticité publiées entre 2010 et 2019) afin de fournir des éléments de détermination de l'exposition de la France aux risques pesant sur les approvisionnements en chacune de ces substances et leur importance pour l'économie française. Les résultats de ces études de criticité sont synthétisés par le positionnement de la substance sur un diagramme selon deux dimensions :

- les risques pesant sur les approvisionnements, estimation sur une échelle de 1 (très faible) à 5 (très forte), en termes de pérennité et de suffisance des approvisionnements. Sachant que la France, n'ayant plus de production minière à l'exception de la Nouvelle-Calédonie et de la Guyane, dépend très majoritairement des importations des métaux pour sa consommation, la part de métaux issus du recyclage restant minoritaire ;
- l'importance économique, évaluation sur une échelle de 1 à 5 de l'impact qu'aurait une pénurie d'approvisionnement (rupture d'approvisionnement, ou un renchérissement significatif par une insuffisance de l'offre) pour l'économie française, en termes de capacité à produire des biens matériels.

Dans cette approche, les scores établis sur une échelle de 1 à 5 sont des estimations. Les enquêtes sont réalisées auprès des entreprises majeures concernées, mais pas sur les nombreuses PME. L'importance stratégique de telle ou telle substance peut être perçue différemment par telle ou telle entreprise ou industrie selon sa spécialisation. Les positionnements sont donc des résultats de moyennes et de compromis et ne doivent pas être interprétés comme des positionnements absolus. Ils sont aussi susceptibles d'évoluer dans le temps (répartition mondiale de la production minière, apparition de nouveaux usages, produits substituables, etc.) (Figure 2).

La Commission Européenne publie également une liste des « *Matières Premières Critiques* ». Trois versions ont été publiées à ce jour en juin-juillet 2010 (14 matériaux), mai 2014 (resp. 20) et juin-septembre 2017 (resp. 27). L'élaboration de cette liste s'inscrit dans le cadre de l'initiative européenne « *Matières premières* », dont le but est de contribuer à assurer la sécurité, la durabilité et le coût abordable de l'approvisionnement en ces matières premières. Le principal objectif de cette liste est d'inventorier les matières premières présentant un risque élevé de pénurie d'approvisionnement et une grande importance économique ; auxquelles l'accès fiable et sans entrave constitue un enjeu pour l'industrie européenne et les chaînes de valeur. Les principales améliorations apportées en 2017 ont trait aux échanges (dépendance aux importations et restrictions à l'exportation), à la substitution comme facteur de correction à la fois de l'importance économique et du risque de pénurie d'approvisionnement, et à la répartition détaillée des utilisations finales des matières premières sur la base des applications industrielles (Figure 3).

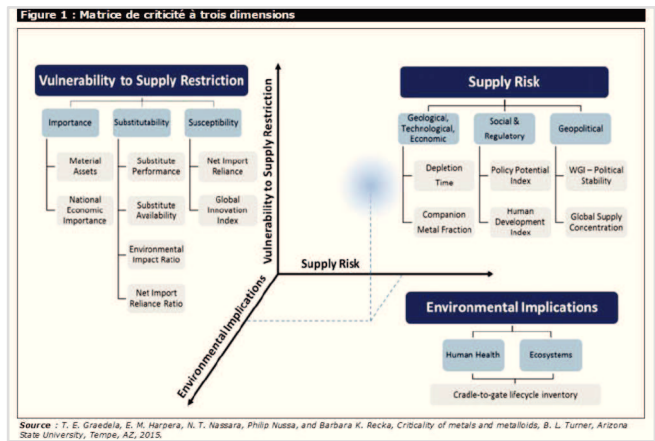
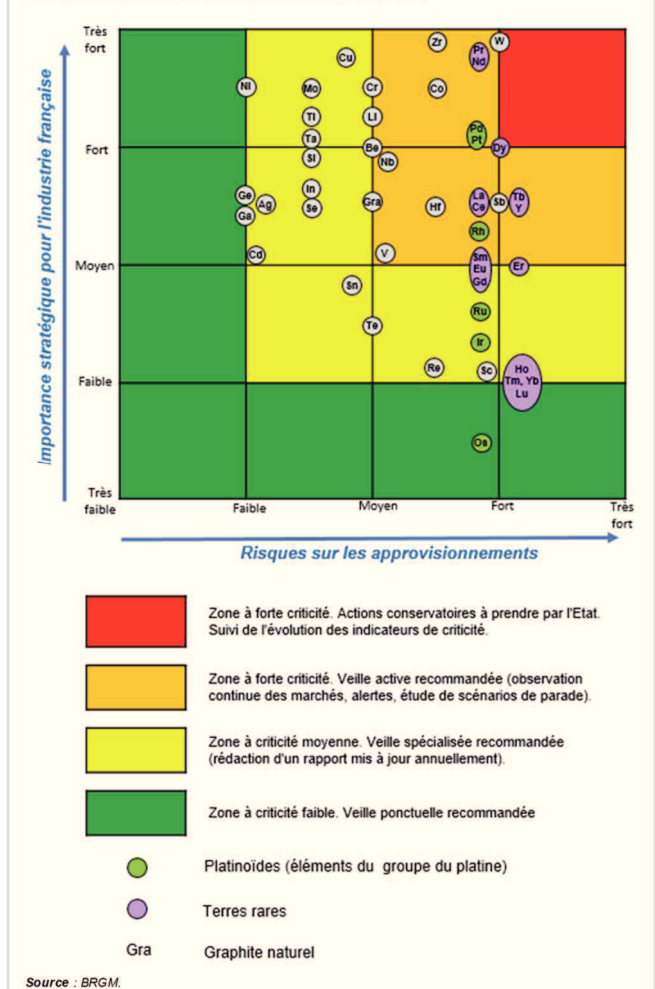


Figure 2 : Évaluation de la criticité des substances ou groupes de substances étudiées par le BRGM depuis 2010. Positionnements révisés à fin 2019 ("Fiches de criticité")



(1) En 2018 le gouvernement américain a publié une liste dichotomique pour les métaux critiques.  
 (2) Bureau de Recherches Géologiques et Minières : <https://www.brgm.fr>

Le rapport de 2016 du JRC « *Raw Materials in the European Industry* » a dressé un panorama des MPM dans le domaine de la Défense en Europe. Il comptabilise 39 matériaux Défense, dont 28 métaux de base, 6 terres rares, 3 métaux précieux et 2 non-métaux. 20 de ces matériaux font partie de la liste des matières premières critiques en 2017. L'UE est totalement dépendante de ses approvisionnements du reste du monde pour 14 de ces matériaux. Un tiers de ces matériaux Défense est produit en Chine. Le rapport indique que les quantités consommées par les applications défense sont plus faibles que dans le secteur civil, à l'exception du domaine naval et que la pureté des matériaux utilisés est primordiale. La plupart des systèmes de défense intègre des produits finis ou semi-finis. 47 alliages ou métaux composites ont été ainsi identifiés, fabriqués essentiellement aux États-Unis, au Japon ou en Europe (Figures 4, 5).

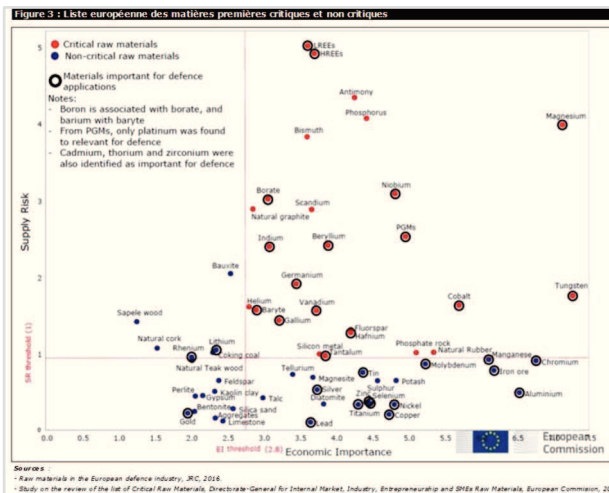
Pour la première fois, les États-Unis ont adopté en mai 2018 une liste de 35 substances minérales critiques. Au-delà d'une production domestique et d'une orientation des importations en provenance de pays alliés, les États-Unis ont depuis toujours une politique de sécurisation grâce à des stocks stratégiques qui sont gérés par la *Defense Logistics Agency* (DLA) du *Department of Defense*. La DLA entretient 42 matières dans 8 sites aux États-Unis. Pour l'année fiscale 2017, la DLA a acquis pour 5,76 M USD de nouveaux matériaux et vendu pour 63 M USD de stocks stratégiques. Fin 2017, la valorisation des stocks, qui a fortement décliné depuis la fin de la « guerre froide », s'établissait à 1,1 Md USD.

## LA QUESTION DES RISQUES D'APPROVISIONNEMENT

Les risques d'approvisionnement se distribuent sur toute la chaîne de valeur, de la découverte géologique d'une ressource exploitable, jusqu'à la commercialisation d'un produit final qui peut s'avérer complexe (frégates, avions de combat, etc.).

Un certain nombre de facteurs jouent sur les risques d'approvisionnement :

- la disponibilité géologique connue (réserves et ressources répertoriées) ;
- la disponibilité structurelle ou technique ;
- la concentration géographique mondiale des ressources, de la production minière, de la métallurgie et du raffinage (politique minière des États, stabilité politique, fiabilité et qualité de la gouvernance des pays qui contrôlent les ressources, l'extraction, la métallurgie, considérations éthiques (minerais de conflit), acceptabilité sociétale, etc. ;
- les restrictions existantes au libre commerce de la matière première ;
- l'existence de problèmes environnementaux spécifiques à la filière ;
- le taux de croissance de la demande adressée au produit ;
- le taux de recyclage en fin de vie ;
- le degré de flexibilité de l'offre minière pour répondre à une éventuelle forte hausse de la demande.



**Figure 4 : Liste des matières premières utilisées dans l'industrie de Défense Européenne**

Matière première	Secteurs d'usage défense	Matière première critique (2017)	Importance économique	Risque d'approvisionnement	Taux de dépendance aux importations (%)**	EoL-RIR(%)**
<b>Métaux de base (28)</b>						
Aluminium	Aérien, Terrestre, Naval, Missiles	Non	0,5	6,5	64,0	12,0
Barium	Aérien, Terrestre, Electronique	Oui	1,6	2,9	80,0	1,0
Beryllium	Aérien, Terrestre, Electronique	Oui	2,4	3,9	nc	0,0
Cadmium	Aérien, Electronique	Non	nc	nc	nc	-
Chrome	Aérien, Terrestre, Naval	Oui	0,9	6,8	75,0	21,0
Cobalt	Aérien, Electronique	Oui	1,6	5,7	32,0	0,0
Cuivre	Aérien, Terrestre, Naval, Electronique	Non	0,2	4,7	82,0	55,0
Gallium	Electronique	Oui	1,4	3,2	24,0	0,0
Germanium	Electronique	Oui	1,9	3,5	65,0	2,0
Hafnium	Aérien, Electronique	Oui	1,3	4,2	9,0	1,0
Indium	Electronique	Oui	2,4	3,1	0,0	0,0
Fer	Aérien, Terrestre, Naval, Electronique	Non	0,8	6,2	74,0	24,0
Plomb	Aérien, Naval	Non	0,1	3,7	18,0	75,0
Lithium	Aérien, Naval, Electronique	Non	1,0	2,4	86,0	0,0
Maonesium	Aérien, Electronique, Missiles	Oui	4,0	7,1	100,0	9,0
Manganèse	Aérien, Naval	Non	0,9	6,1	89,0	12,0
Niobène	Aérien, Naval, Missiles	Non	0,9	5,2	100,0	39,0
Nickel	Aérien, Naval, Terrestre	Non	0,3	4,8	59,0	34,0
Niobium	Aérien, Missiles	Oui	3,1	4,8	100,0	0,0
Rhenium	Aérien	Non	1,0	2,0	18,0	50,0
Tantale	Aérien, Electronique	Oui	1,0	3,9	100,0	1,0
Thorium	Electronique	Non	nc	nc	nc	-
Etain	Aérien	Non	0,8	4,4	78,0	32,0
Titane	Aérien, Naval, Terrestre	Non	0,3	4,3	100,0	19,0
Tungstène	Aérien, Terrestre	Oui	1,8	7,3	44,0	42,0
Vanadium	Aérien, Naval	Oui	1,6	3,7	84,0	44,0
Zinc	Electronique	Non	0,3	4,5	61,0	31,0
Zirconium	Aérien	Non	nc	nc	nc	-
<b>Terres rares (16)</b>						
Dysprosium	Missiles	Oui	5,2	6,3	100,0	0,0
Samarium	Aérien, Naval, Electronique	Oui	4,5	5,5	100,0	1,0
Neodymium	Aérien, Espace, Electronique	Oui	4,8	4,2	100,0	1,0
Chrome	Electronique	Oui	3,8	3,2	100,0	31,0
Praseodymium	Missiles	Oui	4,6	3,8	100,0	10,0
Autres (11)	Aérien, Electronique	Oui	5,0	3,6	100,0	-
<b>Métaux précieux (3)</b>						
Or	Electronique	Non	0,2	2,0	100,0	-
Platine	Aérien	Non	2,1	4,9	98,0	11,0
Argent	Electronique	Non	0,5	3,8	80,0	55,0
<b>Non métaux (2)</b>						
Boron	Aérien, Electronique	Non	3,0	3,1	100,0	0,0
Selenium	Electronique	Non	0,4	4,5	17,0	1,0

\* Les taux de dépendance aux importations ne sont calculés que sur une année (ou une moyenne d'années) d'échanges commerciaux.  
 \*\* End of Life Recycling Input Rate : contribution de matériaux recyclés à la demande de matières premières, Taux de recyclage en fin de vie, à nc : non connu.  
 Sources :  
 - Raw materials in the European defence industry, JRC, 2016.  
 - Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs Raw Materials, European Commission, 2017.

**Figure 5 : Taux de dépendance de l'UE aux importations de MPM (%)**

MPM	Taux de dépendance (%)	Principaux producteurs
Aluminium	64	Chine, Russie, Canada, USA, EAU
Barium	80	Chine, Inde, Maroc, Turquie, USA
Beryllium	100	Turquie, USA, Chili, Argentine, Pérou
Cadmium	29	Chine, Corée du Sud, Japon, Mexico, Kazakhstan
Chrome	75	Afrique du Sud, Kazakhstan, Turquie, Inde, Finlande
Cobalt	32	Rép. Du Congo, Chine, Canada, Australie, Zambie
Cuivre	82	Chili, Chine, Pérou, USA, Australie
Gallium	34	Chine, Ukraine, Japon, Russie, Hongrie
Germanium	64	Chine, Finlande, Russie, USA, Japon, Ukraine
Hafnium	9	France, USA, Ukraine, Russie
Indium	0	Chine, Corée du Sud, Japon, Canada, Belgique
Fer	74	Chine, Australie, Brésil, Inde, Russie
Nickel	18	Chine, Australie, USA, Pérou, Mexico
Lithium	86	Chili, Australie, Chine, Argentine, USA
Maonesium	100	Chine, Oman, USA, Russie, Israël
Manganèse	89	Afrique du Sud, Chine, Australie, Gabon, Brésil
Molvodénium	100	Chine, USA, Chili, Pérou, Mexico
Niobium	59	Indonésie, Philippines, Australie, Canada, Nouvelle Calédonie
Niobium	100	Brésil, Canada, Autres
Rhenium	18	Chili, USA, Ouzbékistan, Pologne, Kazakhstan
Tantale	100	Rwanda, Rép. Du Congo, Brésil, Nigeria, Canada
Thorium	100	Inde, Malaisie, Vietnam, Brésil
Etain	78	Chine, Indonésie, Pérou, Bolivie, Brésil
Titane	100	Australie, Afrique du Sud, Chine, Canada, Vietnam
Tungstène	44	Chine, Russie, Canada, Vietnam, Rwanda
Vanadium	84	Chine, Afrique du Sud, Russie, Kazakhstan
Zinc	61	Chine, Australie, Pérou, Inde, USA
Zirconium	100	Australie, Afrique du Sud, Chine, Indonésie, USA
Dysprosium	100	
Samarium	100	
Neodymium	100	
Yttrium	100	Chine, USA, Ouzbékistan, Pologne, Kazakhstan
Praseodymium	100	
Autres (11)	100	
Or	100	Chine, Australie, USA, Russie, Afrique du Sud
Platine	98	Afrique du Sud, Russie, Zimbabwe, Canada
Argent	80	Mexico, Pérou, Chine, Australie, Bolivie
Boron	100	Turquie, USA, Chili, Argentine, Pérou
Selenium	17	Allemagne, Japon, Belgique, Russie, Canada

Source : Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs Raw Materials, European Commission, 2017.

Du point de vue des industriels, la complexité des chaînes de valeur mondiales (flux tendus, « *zéro stock* ») fait que certains industriels n'ont souvent qu'une visibilité, voire une connaissance, limitée des MPM entrants dans la composition de leurs produits. L'impact d'éventuelles restrictions d'approvisionnement dépendra donc :

- du niveau de la demande globale, de son évolution, de la part du marché considérée dans cette demande globale ;
- des impacts économiques, environnementaux et sociaux anticipés d'éventuelles pénuries ;
- de la place stratégique du domaine de production considéré (défense, production d'énergie et désormais énergies renouvelables, industries clés, hautes technologies, etc.) ;
- de la disponibilité d'éventuels substituts, ou du temps éventuellement nécessaire pour développer de tels substituts et les amener sur le marché, plus généralement, du temps nécessaire pour s'adapter aux éventuelles pénuries ;
- de la disponibilité de ressources secondaires issues du recyclage des matières ;
- de manière très limitée dans le temps, de l'éventuelle disponibilité de stocks pouvant jouer le rôle de tampon temporaire en cas de pénurie (stocks stratégiques comme au Japon, Corée du Sud, Chine, USA ; stocks de précaution des entreprises) ;
- de la contractualisation de moyen terme ou la prise de participation dans des activités minières ou métallurgiques à l'étranger (**Figure 6**).

## ÉCONOMIE CIRCULAIRE

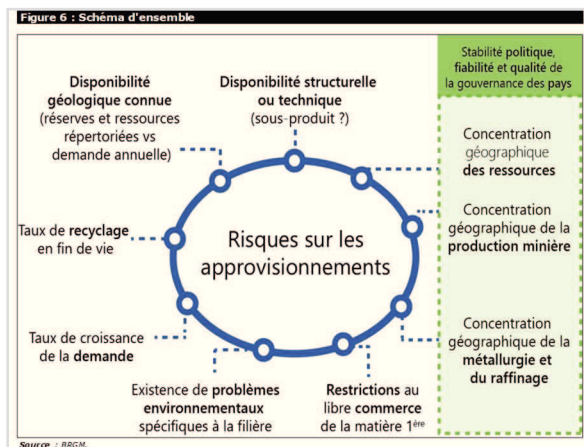
Face à la demande croissante en matières premières, un réflexe consiste à envisager le recyclage des équipements qui contiennent des métaux critiques. La part d'approvisionnement des ressources secondaires dans l'approvisionnement en matières premières reste néanmoins faible. Or, la valorisation de ces « *matières premières secondaires* » permet non seulement de réduire la consommation de métaux primaires, d'assurer une partie de la sécurité de l'approvisionnement en matières premières, de diminuer les quantités de déchets ultimes à stocker, mais a aussi un impact sur la consommation d'eau et d'énergie.

En France, l'Ademe a identifié 182 projets de recherche sur le recyclage des métaux critiques. La majorité concerne le traitement des déchets électroniques et des batteries. Les métaux faisant le plus l'objet de projets de recherche sont les terres rares, le tungstène, les platinoïdes et le cobalt (Ademe, juin 2017).

La France est le deuxième pays le plus actif d'Europe en termes de dépôt de brevets portant sur le recyclage des métaux critiques, derrière l'Allemagne et devant le Royaume-Uni et la Belgique<sup>(3)</sup>. La recherche française bénéficie d'une bonne structuration de ses acteurs (publics-privés, filières REP<sup>(4)</sup>, pays européens) et d'une véritable volonté politique de soutenir le recyclage des métaux critiques. Par contre, il existe un manque d'activité de R&D sur les étapes du recyclage en amont de l'extraction des métaux (du tri au prétraitement).

(3) Alliance Nationale de recherche pour l'Environnement (2016), Recyclage des métaux critiques - Analyse stratégique collective.

(4) Les filières à Responsabilité Élargie des Producteurs.



**Figure 7 : Production mondiale et réserves de tungstène**

Tonnes métriques

	Production minière		Réserves
	2017	2018*	2018*
États-Unis	nd	nd	nd
Autriche	975	980	10 000
Bolivie	994	1 000	nd
Chine*	67 000	67 000	1 900 000
Portugal	724	770	3 100
Russie*	2 090	2 100	240 000
Rwanda	720	830	nd
Espagne	564	750	54 000
Royaume-Uni	1 090	900	43 000
Vietnam	6 600	6 000	95 000
Autres	1 343	1 670	954 900
<b>Total</b>	<b>82 100</b>	<b>82 000</b>	<b>3 300 000</b>

\* estimations.

nd : non diffusé.

Source : USGS.

## L'EXEMPLE DU TUNGSTÈNE

Le tungstène a des propriétés remarquables. C'est un métal très réfractaire qui a le plus haut point de fusion de tous les métaux (3 422 °C), d'une très forte densité (19,25) comparable à l'or, à la grande dureté (7,5 sur l'échelle de Mohs<sup>(5)</sup>) et stable chimiquement.

Le tungstène est généralement le produit principal de ses mines.

Les principaux usages sont les carbures cémentés (50 %) (outils de coupe et abrasifs, trépan de forage, tunneliers), les aciers au tungstène (25 %) et superalliages (2,5 %) (turbines d'avion, de fusées et de centrales à gaz, pièces de fours métallurgiques), le tungstène métal (13 %) (tubes de rayons X, lampes à filaments, soudure, résistances chauffantes, alliages lourds, armements, boucliers antiradiations, masses oscillantes en horlogerie, vibreurs de téléphone portable, billes stylo bille), la chimie (8 %, la plus ancienne) (pigments, verres spéciaux).

Les principales applications dans les domaines de haute technologie concernent les superalliages (aéronautique), les outils de coupe (toutes industries) et l'armement. Il existe d'autres applications, notamment dans le domaine de l'énergie : outils de forage pour l'industrie du pétrole, du gaz et de la géothermie, turbines à gaz, éclairage, les machines-outils destinées à la fabrication de centrales et générateurs.

Dans le domaine des industries de défense, des éléments de tungstène se retrouvent dans : les volets chauds M-88 du Rafale, dans l'obus-flèche OFL 120 F1 français, dans l'obus perforant sous-calibré à sabot détachable de 76,2 mm SV Mk.1 britannique, etc.

La production mondiale, évaluée à 82 Kt de métal en 2018, est dominée par la Chine (82 % de la production mondiale), suivie du Vietnam (7,3 %) et de la Russie (2,6 %). Il existe quatre mines en activité en Europe : Mittersill (Autriche), Los Santos (Espagne), Panasqueira (Portugal) et La Parilla<sup>(6)</sup> (Espagne) (**Figures 7, 8**).

La consommation mondiale est estimée à 102,3 Kt en 2017(Roskill), avec la Chine qui représente la moitié de la consommation mondiale, devant l'Europe, les États-Unis et le Japon, et ce grâce au fort développement de sa filière aval.

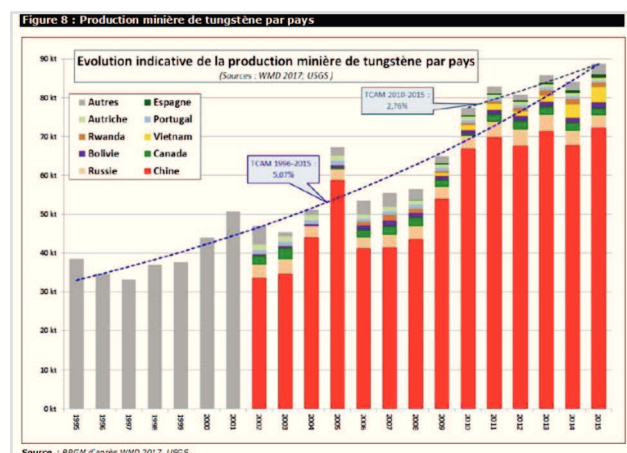
Les réserves connues en 2018 sont estimées à 3 300 Kt, soit l'équivalent de 40 ans de production (USGS, 2019). Les principaux pays détenteurs de réserves sont : la Chine 58 %, la Russie 7 %, le Vietnam 3 % et l'Espagne 2 %.

Parmi les acteurs sur le marché français, des entreprises métallurgiques (Umicore, Plansee Tungsten alloys) et des entreprises de produits intermédiaires (Erasteel SAS, Aerometal).

Il n'existe pas de cotation publique sur les marchés boursiers du tungstène. Les prix sont établis par négociations directes de contrats entre producteurs primaires et transformateurs ou utilisateurs en fonction du produit et de sa qualité. La majorité des échanges internationaux concernent soit des concentrés (~65 % Trioxyde de tungstène), du paratungstate d'ammonium (APT), du ferrotungstène (~75 % Tungstène), des oxydes de tungstène jaune ou bleu, de la poudre de carbure de tungstène (**Figure 9**).

(5) L'échelle de Mohs fut inventée en 1812 par le minéralogiste allemand Friedrich Mohs afin de mesurer la dureté des minéraux. Elle est basée sur dix minéraux facilement disponibles.

(6) La mine de La Parilla, appartenant à la compagnie W Resources, a commencé à produire en décembre 2018.



Le commerce international de tungstène est soumis à des restrictions. La loi Dodd-Frank (ou Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act) adoptée par le congrès américain en juillet 2010, comprend une disposition, la section 1502, obligeant toutes les entreprises enregistrées à la bourse américaine : à identifier si leurs produits sont susceptibles de contenir de l'or et l'un des « 3T » : tantale, tungstène et étain (tin, en anglais) ; le cas échéant, à établir si ceux-ci pourraient provenir des zones de conflits définies par la loi, à savoir la RDC et les neuf pays limitrophes, à prendre des mesures pour diminuer les risques de corrélation entre l'approvisionnement en métaux des industriels et l'alimentation des conflits et abus dans la région des Grands Lacs.

Par ailleurs, dans le prolongement de la directive de la Commission Européenne sur les minerais de conflit de 2015, un nouveau règlement relatif aux minerais provenant de zones de conflit entrera en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2021. Il s'agira de veiller à ce que les importateurs d'étain, de tungstène, de tantale et d'or de l'UE respectent les normes internationales en matière d'approvisionnement responsable élaborées par l'OCDE ; veiller à ce que les fonderies et affineries de l'UE et du monde entier s'approvisionnent de manière responsable en étain, tungstène, tantale et or ; contribuer à rompre le lien entre les conflits et l'exploitation illégale des minerais ; contribuer à mettre un terme à l'exploitation abusive des communautés locales, et notamment des mineurs, et à soutenir le développement local. L'impact pour le tungstène est jugé marginal, puisque la production minière susceptible d'être concernée est inférieure à 1 % de la production mondiale.

Le tungstène et ses composés ne sont pas concernés par la réglementation REACH, à l'exception du tungstate de nickel (NiWO<sub>4</sub>) cité comme cancérigène en tant que composé de nickel.

Dans la classification du BRGM, le tungstène est situé dans la zone forte en matière de risques sur les approvisionnements et dans la zone très forte pour l'importance stratégique pour l'industrie française (**Figure 2**). Dans la matrice de criticité et la liste des « *Matières Premières Critiques* » de la Commission Européenne de 2017, le tungstène atteint un score de 1,8 en risque sur les approvisionnements et de 5,3 en importance économique (**Figure 3**). Il a été identifié comme critique dans 21 études publiées depuis 2005.

Il existe peu de produits substituables au tungstène. Pour les carbures de tungstène des carbures cémentés (Molybdène, Titane, Niobium), des céramiques, des céramiques-métal, des outils en acier, mais avec des performances moindres et à un coût bien plus élevé. Pour le tungstène métal, l'uranium appauvri ou le plomb, mais avec un impact fort sur la santé et l'environnement.

Parmi les produits en fin de vie, entre 10 % et 25 % du tungstène contenu serait recyclé. D'environ 5 Kt en Europe, la production de tungstène secondaire devrait continuer à croître d'environ 8 % par an durant les cinq prochaines années. Les programmes de collecte s'améliorent et de nouvelles installations de recyclage sont en construction.

## Domination chinoise

La Chine domine à la fois la production mondiale de tungstène (82 %), les réserves mondiales (58 %) et dispose de trois sociétés majeures.

Plusieurs facteurs sont à l'origine de la domination chinoise.

La Chine dispose d'une situation géologique exceptionnelle avec des champs filoniens de grande dimension dans deux provinces chinoises (Hunan et Jiangxi). L'une des plus grosses mines de scheelite<sup>(7)</sup> est la mine de Xianglushan dans la province du Jiangxi avec 5 750 tonnes produites en 2016, plus de 217 000 tonnes de réserves prouvées, exploitée par *Jiangxi Xianglushan Tungsten Co.* (filiale de CMC). 95 % de la production chinoise est contrôlée par le groupe d'État CMC (*China Minmetals Corporation*, 8 mines).

Le tungstène a été inscrit dès 1991 sur la liste des ressources nationales chinoises protégées. En 2000, des quotas de production ont été instaurés et l'attribution de nouveaux permis d'exploitation a été suspendue. La Chine a instauré en 2001, des quotas d'exportation pour différents produits tungstifères. Les investissements étrangers dans l'exploration et l'exploitation sont interdits en 2017. Une taxe à l'exportation est mise en place (5 % - 10 %). Les quotas officiels d'exportation sont réduits dès 2012 et seules 15 entreprises chinoises disposent de licences d'exportations. En 2015, afin d'éviter les sanctions de l'OMC, les quotas d'exportation sont remplacés par de quotas de production par province et de nouvelles taxes sont fixées à l'exportation.

Le nombre d'acteurs sur le marché s'est réduit au cours du temps, le groupe d'État *China Minmetals* intégrant diverses filiales : *Jiangxi Tungsten Industry Group*, *Jiangxi Xianglushan Tungsten Co*, *Hunan Nonferrous Metals Holding Group*, *Xiamen Tungsten*.

Jusqu'en 1980, la Chine exportait principalement des concentrés de wolframite et de scheelite bruts. Depuis, les complexes métallurgiques sont au plus près des mines (intégration verticale), de façon à valoriser les minerais et la transformation en produits intermédiaires (carbures de tungstène) et finis sur place. A partir des années 2000, 75 % des exportations chinoises de tungstène étaient sous la forme d'APT, oxydes, poudres, ferrotungstène ou carbures de tungstène.

La Chine détermine ainsi largement les prix du tungstène. Depuis 2016, de nombreuses mines et fonderies chinoises avec un coût de production faible (le plus souvent illégales) ont dû fermer pour cause de non-respect environnemental. Peu de tungstène étant disponible sur le marché, les prix sont repartis à la hausse.

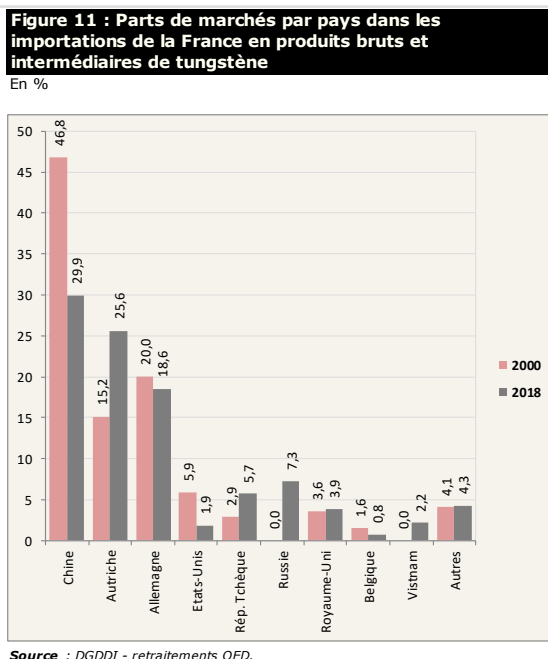
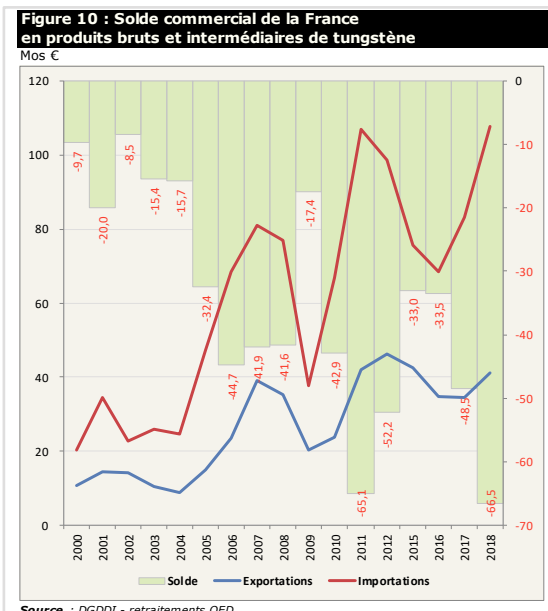
(7) La scheelite est une espèce minérale composée de calcium et de tungstène de formule chimique CaWO<sub>4</sub> avec des traces de Mo, Nb, Ta.

## Commerce extérieur et dépendance

Le déficit commercial de la France en produits bruts et intermédiaires de tungstène atteint 66,5 Mos € en 2018. Le déficit s'aggrave depuis 2016, en raison de la forte progression des importations (+30 % entre 2017 et 2018) (**Figure 10**), notamment d'oxydes et hydroxydes de tungstène et de carbures de tungstène.

Sur la période 2000-2018, la part de marché de la Chine dans les importations françaises de tungstène s'est réduite de 16,9 points de pourcentage au profit de l'Autriche (+10,5 points) et de la Russie dans une moindre mesure (**Figure 11**).

En 2018, les importations en produits de tungstène de la BITD française représentaient 40,2 % des importations de la France en valeur et 32,6 % en volume. Ces parts ont progressé respectivement de 4,9 et 5,7 points de pourcentage respectivement entre 2015 et 2018 (**Figure 12**). 62,5 % des importations en valeur de la BITD française en produits de tungstène proviennent d'Autriche, essentiellement des carbures de tungstène. La Chine ne représente que 6,1 % des importations en valeur de produits de tungstène de la BITD, contre 29,9 % pour la France (**Figure 13**).



(8) WO3 : Trioxyde de tungstène.

(9) Moteurs pas à pas, boussoles électroniques, capteurs, systèmes d'embrayage et de freins, systèmes de radars, systèmes de guidage des missiles, accéléromètres.

**Figure 12 : Parts des importations de produits bruts et intermédiaires de tungstène de la BITD dans les importations de la France**

En %

Produits bruts et intermédiaires	Valeur				Volume			
	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018
Minerais de tungstène et leurs concentrés	-	80,9	1,8	100,0	-	10,6	0,6	100,0
Composés de tungstène	8,3	0,0	1,1	5,9	7,1	0,0	0,8	3,3
Carbures de tungstène	75,8	78,5	81,9	83,7	80,8	83,3	81,7	85,9
Ferrotungstène et ferrosilicotungstène	3,1	5,5	4,5	31,4	2,3	4,3	4,4	30,2
Tungstène métal	39,2	39,7	29,8	39,6	63,3	67,2	54,7	55,8
Déchets et débris de tungstène	17,7	6,4	7,4	16,4	8,7	1,9	3,5	5,8
<b>Ensemble</b>	<b>35,4</b>	<b>34,9</b>	<b>33,8</b>	<b>40,2</b>	<b>26,9</b>	<b>24,9</b>	<b>25,8</b>	<b>32,6</b>

Périmètre : BITD 2015, OED.

Source : DGDDI - retraitements OED.

## Prospective

En Europe, on recense quatre mines actives pour une production de 3 035 t de W métal (3,4 % Monde) (USGS, 2016) et une consommation supérieure à 17 Kt/an : Mittersill ou Felbertal (Autriche), Los Santos (Salamanca, Espagne), Panasqueira (Portugal).

En France, huit mines ont été exploitées au 20<sup>ème</sup> siècle dont une majeure : Salau (Ariège, 3 950 tWO3<sup>(8)</sup> (1971-1986)) et deux sites non exploités avec des ressources de plus de 12 Kt WO3 : Fumade (Tarn), Coat-an-Noz (Côtes d'Armor). La mine de Salau, ouverte en 1971, a été fermée en 1986.

Malgré la domination chinoise, on assiste depuis 2010 à l'apparition de nouveaux acteurs : au Vietnam (Nui Phao (Masan ressources)), en Mongolie (Khovd River (SS Mongolia)).

Il existe également une grande diversité de nouveaux marchés d'exploration dans le monde : en Europe dans la péninsule ibérique (Barruecopardo et La Parilla en Espagne), une diversification des acteurs en Asie (Sangdong en Corée du Sud), en Australie (Mt Mulgine), aux Etats-Unis (Utha, Nevada), au Canada (Yukon).

En ce qui concerne la demande, le BRGM dans son analyse de prospective 2018-2025, estime que la consommation française (100 Kt) de tungstène devrait croître de 3,5 % par an entre 2017 et 2025 avec une demande en hausse dans les secteurs traditionnels : industries mécaniques, aéronautique, automobile. Le marché ne devrait pas voir l'émergence de nouveaux secteurs d'usage. Des interrogations demeurent sur l'impact sur l'usinage automobile lié au passage aux véhicules électriques et la substitution au tungstène dans les superalliages par des composites à matrice céramique. Dans les secteurs à haute valeur ajoutée, le développement de la métallurgie des poudres et des technologies de fabrication additive métal (DGE, 2017) pourraient jouer un rôle important sur la demande future. S'agissant de l'offre, de nouveaux projets existent (cf. plus haut), mais l'intégration verticale de la filière reste un fort enjeu. Il reste enfin des aléas géopolitiques liés au contrôle accru des acteurs chinois des gisements et de la métallurgie et sur les perspectives de filière de recyclage en Europe.

## AUTRES EXEMPLES

La **Figure 14** donne d'autres exemples de produits bruts et intermédiaires importés par les entreprises de la BITD. A l'exemple du tungstène, chaque situation est particulière, et nécessite une évaluation précise de la vulnérabilité de la BITD au regard des évolutions de chacun des facteurs : état de la demande (usages, consommation mondiale), état de l'offre (inventaire des ressources connues, des productions, des sources d'approvisionnement primaires et secondaires), identification des utilisateurs et de leurs besoins (français, européens et mondiaux), etc.

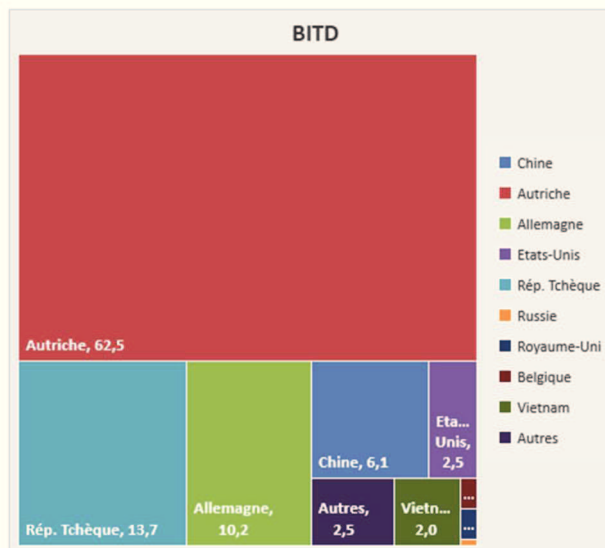
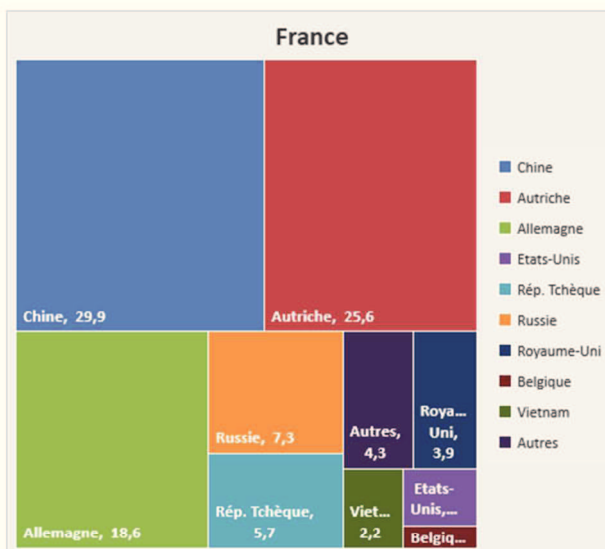
A contrario d'autres produits dont l'approvisionnement dépend moins d'elle, la Chine conserve un monopole sur les aimants permanents à terres rares. Ces derniers sont devenus indispensables dans de nombreux domaines dont l'aérospatiale et la défense<sup>(9)</sup>. Ils représentent selon le BRGM, 20 % à 23 % de la demande en tonnages et 53 % de la demande en valeur et constituent le principal secteur de croissance de la demande en terres rares. 37 % des approvisionnements en valeur en aimants à terres rares de la BITD en 2018, proviennent de la Chine et 16 % du Japon (**Figure 15**).

(8) WO3 : Trioxyde de tungstène.

(9) Moteurs pas à pas, boussoles électroniques, capteurs, systèmes d'embrayage et de freins, systèmes de radars, systèmes de guidage des missiles, accéléromètres.

**Figure 13 : Parts de marchés comparées dans les importations en produits bruts et intermédiaires de tungstène en 2018**

En %



Périmètre : BITD 2015, OED.

Source : DGDDI - retraitements OED.



**Figure 14 : Autres exemples d'importations de produits bruts et intermédiaires de MPM de la BITD**

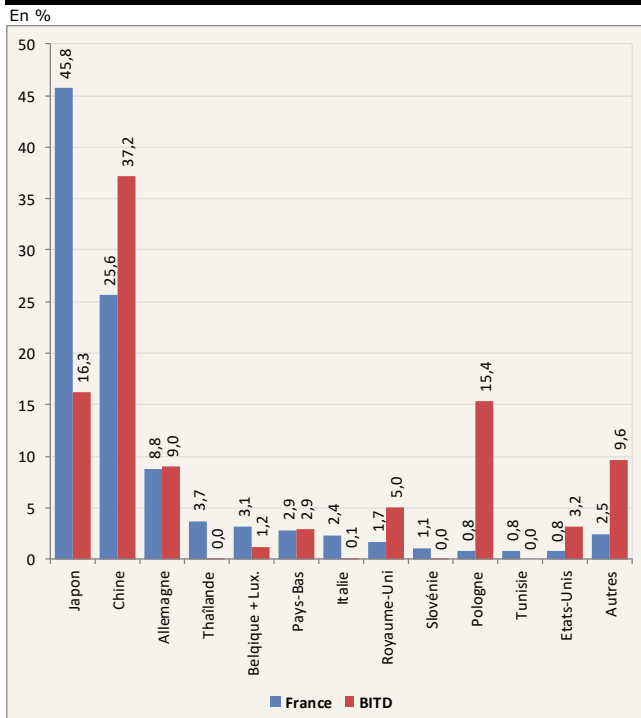
Part (%) des importations de la BITD dans les importations de la France

Produits bruts et intermédiaires	Part de la BITD / France (%)				Pays d'origine 2018	Produits 2018
	2015	2016	2017	2018		
<b>Tungstène</b>	35,4	34,9	33,8	40,2	Autriche	Carbures de tungstène
					Rép. Tchèque	Poudres de tungstène
					Allemagne	Tungstates
					Chine	Ferrotungstène et ferrosilicotungstène
					Etats-Unis	Ouvrages en tungstène
<b>Cobalt</b>	23,5	32,4	31,3	23,1	Etats-Unis	Ouvrages en cobalt, n.d.a.
					Royaume-Uni	Oxydes et hydroxydes de cobalt; oxydes de cobalt du commerce
					Allemagne	Ouvrages en cobalt, n.d.a.
					Belgique	Nitrates de baryum, de béryllium, de cadmium, de cobalt, de nickel, de plomb
					Canada	Ouvrages en cobalt, n.d.a.
<b>Titane</b>	50,1	46,0	47,3	52,0	Etats-Unis	Tôles, bandes et feuilles en titane
					Russie	Tôles, bandes et feuilles en titane
					Allemagne	Barres, profilés et fils en titane, n.d.a.
					Royaume-Uni	Barres, profilés et fils en titane, n.d.a.
					Mexique	Ouvrages en titane, n.d.a.
<b>Molybdène</b>	41,3	39,5	38,2	37,1	Pays-Bas	Oxydes et hydroxydes de molybdène
					Chine	Molybdène sous forme brute
					Chili	Oxydes et hydroxydes de molybdène
					Royaume-Uni	Molybdène sous forme brute
					Russie	Molybdène sous forme brute
<b>Béryllium</b>	42,9	40,5	43,7	34,2	Belgique	Nitrates de baryum, de béryllium, de cadmium, de cobalt, de nickel, de plomb
					Allemagne	Nitrates de baryum, de béryllium, de cadmium, de cobalt, de nickel, de plomb
					UE	Béryllium sous forme brute; poudres de béryllium
					Etats-Unis	Nitrates de baryum, de béryllium, de cadmium, de cobalt, de nickel, de plomb
<b>Aimants permanents à Terres Rares</b>	11,8	11,8	6,2	4,8	Chine	Aimants permanents et articles
					Japon	Aimants permanents et articles
					Pologne	Aimants permanents et articles
					Allemagne	Aimants permanents et articles
					Royaume-Uni	Aimants permanents et articles

Périmètre : BITD 2015, OED.

Source : DGDDI - retraitements OED.

**Figure 15 : Parts de marchés par pays dans les importations de la France et de la BITD en aimants à terres rares en**



Périmètre : BITD 2015, OED.

Sources : DGDD, Eurostat, retraitements OED.

## BIBLIOGRAPHIE

### Criticité des matériaux

- Graedel, T.E., Barr, R., Chandler, C., Chase, T., Choi, J., Christoffersen, L., Friedlander, E., Henly, C., Jun, C., Nassar, N.T., Schechner, D., Warren, S., Yang, M., Zhu, C., 2012. Methodology of metal criticality determination. Environ. Sci. Technol. Vol 46, pp1063-1070.
- Graedel T. E., Harper E. M., Nassar N. T., Reck B. K., 2013, On the materials basis of modern society, PNAS.
- Graedel T. E., Harper E. M., Nassar N. T., Nuss Philip, Reck B. K., 2015, Criticality of metals and metalloids, PNAS.
- Helbig C., Titandioxid – Kritikalität der technischen Nutzung und dissipative Entsorgungspotentiale, Thesis, octobre 2013.
- Gemechu E. D., Helbig C., Sonnemann G., Thorenz A., Tuma A., 2015, Import-based Indicator for the Geopolitical Supply Risk of Raw Materials in Life Cycle Sustainability Assessments, Journal of Industrial Ecology.
- Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy, National Research Council, 2008.
- Communication de la Commission « Relever les défis posés par les marchés des produits de base et les matières premières », COM (2011)25.
- Communication de la Commission sur la révision de la liste des matières premières critiques pour l'UE et la mise en œuvre de l'initiative « Matières premières », COM (2014) 297.
- « Report on Critical Raw Materials for the EU », Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw Materials , mai 2014.
- Methodology for establishing the EU List of Critical Raw Materials, 2017, ISBN 978-92-79-68051-9.
- Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Final Report Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Raw Materials, 2017.
- Critical minerals: A review of elemental trends in comprehensive criticality studies, Sarah M. Hayes, Erin A. McCullough, Resources Policy, Volume 59, December 2018, pages 192-199.
- Managing Materials for a 21st Century Military, Committee on Assessing the Need for a Defense, Stockpile, National Research Council, 2007.

### Tungstène

- Fiche de synthèse sur la criticité des métaux, Le tungstène, BRGM, juillet 2017.
- *Recycling of Tungsten, current share, Economic limitations, and futur potential*, ITIA Newsletter, may 2018.
- Wolfram, Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), avril 2014.
- Tungsten, Outlook to 2028, Roskill, 13<sup>th</sup> Edition, 12/03/2019.

### Autres

- *Futur de la fabrication additive*, rapport final, synthèse, Focus sur l'aluminium, Focus sur les matériaux métalliques hors aluminium, Pipame, DGE, ministère de l'Economie et des Finances, janvier 2017.
- *Mineral Commodity, Summaries 2019*, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 2019.
- *Raw materials in the European defence industry*, Claudiu C. Pavel & Evangelos Tzimas, European Commission, Joint Research Centre, Directorate for Energy, Transport & Climate Knowledge for Energy Union Unit, 2016.
- *Managing Materials for a Twenty-first Century Military*, National Research Council, Washington, DC: The National Academies Press, 2008.
- *Strategic and Critical Materials Operations Report To Congress*, Operations under the Strategic and Critical Materials Stock Piling Act during Fiscal Year 2016, Office of the Under Secretary of Defense, for Acquisition, Technology, and Logistics, January 2017.
- Homobono V., Vignolles D., « Analyse de la vulnérabilité d'approvisionnement en matières premières des entreprises françaises », CGIET, ministère de l'Economie et des finances, mars 2019.
- ADEME, Deloitte Développement Durable, Véronique MONIER, Mariane PLANCHON, Alexis LEMEILLET, Nada SAÏDI, Taylla SCAPIM-YAMAGUCHI, *Définition d'orientations prioritaires de recherche-développement de compétences françaises de recyclage des métaux critiques*, Rapport, juin 2017.

### Sites :

- [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials_en)
- <https://roskill.com/>
- <http://www.mineralinfo.fr/>
- <http://www.mineralinfo.fr/page/comite-metiaux-strategiques>
- <https://www.bgr.bund.de/>
- <https://www.usgs.gov/>
- <https://www.itia.info/>

## À PARAÎTRE

Une approche statistique d'identification des PME « innovantes » – EcoDef Statistiques

### Observatoire Économique de la Défense (SGA/DAF/OED)

Balard parcelle Ouest  
60 Boulevard du Général Martial Valin • CS 21623 • 75509 Paris CEDEX 15  
Directeur de la publication : Christophe Mauriet  
Rédacteur en chef : Christian Calzada  
Pour vous abonner > Mél : daf.oed.fct@intradef.gouv.fr

Impression > SGA/SPAC/PGP  
IISN 1293-4348