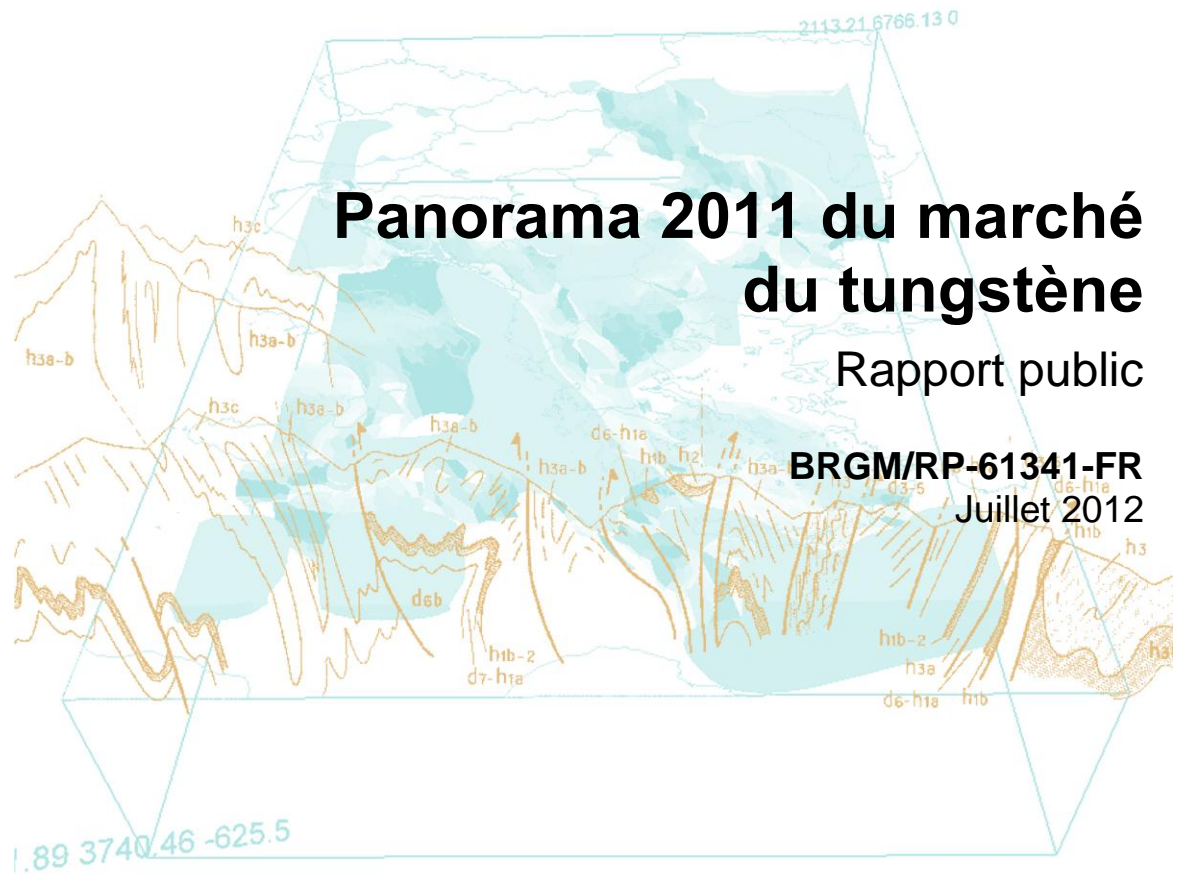


Document public



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Panorama 2011 du marché du tungstène

Rapport public

BRGM/RP-61341-FR
Juillet 2012

A.-S. Audion, J.-F. Labbé

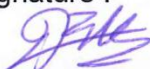
Avec la collaboration extérieure de
la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS)

Vérificateur :

Nom : Bruno MARTEL-JANTIN

Date : 27/07/2012

Signature :

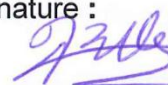
P.O. 

Approbateur :

Nom : Anne BOURGUIGNON

Date : 27/07/2012

Signature :



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008

Mots-clés : Tungstène, Stratégie économique, Stratégie des matières premières, Économie, Matières premières minérales, Industrie, Politiques publiques.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Audion A.S., Labbé J.F., avec la collaboration extérieure de la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS) (2012) - Panorama mondial 2011 du marché du tungstène. Rapport Public. BRGM/RP-61341-FR, 108 p., 29 fig., 16 tabl.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Résumé

LE TUNGSTÈNE

Le tungstène est l'élément n° 74 du tableau de Mendeleïev. C'est un métal de transition de la famille du chrome et du molybdène. C'est un élément peu abondant de l'écorce terrestre (1,25 ppm).

La production minière mondiale aurait été de 72 100 tonnes de tungstène contenu dans les produits marchands¹ (concentrés, APT², oxydes de tungstène, ferrotungstène) en 2011. Le marché est aussi approvisionné par du tungstène secondaire, issu du recyclage, à hauteur d'environ 23 000 t.

Le prix du tungstène sous forme d'APT a été en moyenne de 429,6 US\$/mtu³ sur l'année 2011 et de 429 US\$/mtu au premier semestre 2012, soit respectivement 54,17 et 54,10 US\$/kg de tungstène contenu.

Propriétés et usages

Le tungstène pur est un métal gris acier très dense (densité de 19,25, équivalente à celle de l'or). Il est aussi très réfractaire, ayant la plus haute température de fusion de tous les métaux (3 422 °C). Sa dureté est très élevée. L'ajout de tungstène à l'acier augmente notablement la dureté et la résistance à la chaleur de ce dernier. Le tungstène se combine avec le carbone pour former un carbure (WC) très dur (dureté proche de 9) largement utilisé.

Le tungstène métallique résiste bien à la corrosion et ne s'oxyde à l'air qu'à partir de 400 °C.

Le tungstène n'a pas de rôle biologique connu et n'a pas de toxicité aux doses d'exposition usuelles.

Les usages du tungstène se répartissent de la manière suivante :

- le carbure de tungstène et les carbures cémentés : 55 % ;
- les aciers au tungstène : 22,4 à 23 % ;
- le tungstène métal : 12,7 à 14 % ;

¹ Contrairement à certains autres métaux comme le cuivre dont l'essentiel de la production minière est transformée en cuivre métal, la production minière de tungstène n'est pas commercialisée sous forme de métal, mais sous forme de divers composés. Pour calculer la production totale, on doit donc la convertir en "tungstène contenu dans les composés marchands".

² APT = Paratungstate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), l'un des principaux produits intermédiaires de la transformation des concentrés miniers en produits finis.

³ mtu = "metric tonne unit", la quantité de référence d'établissement et de publication des prix des composés du tungstène, est la quantité qui contient 10 kg de WO_3 , soit 7,931 kg de tungstène.

- les alliages et superalliages de tungstène : 2,5 % ;
- les alliages lourds : 0,7 à 1,4 % ;
- les composés chimiques du tungstène et divers 6 à 8 %.

Les carbures de tungstène cémentés sont utilisés pour leur dureté et leur ténacité pour une large gamme d'application telles que les outils d'usinage et de coupe (scies, forets, fraises, outils de tour, poinçons), les filières de tréfilage, des revêtements de protection d'usure, des outils de gros œuvre (travaux publics, forages, exploitation des mines et des carrières, tunneliers), mais aussi des billes de stylos, des munitions, ou même la bijouterie.

Les aciers au tungstène sont utilisés pour les aciers à outils pour travail à chaud ou à froid (aciers rapides pouvant contenir jusqu'à 12 à 18 % de W). Des aciers inoxydables au tungstène (1 à 6 % de tungstène) sont utilisés lorsque de meilleures résistances à la fatigue, la corrosion et la chaleur sont recherchées.

Les alliages et superalliages au tungstène sont utilisés pour des matériaux qui doivent résister à des environnements de haute température comme les aubes des turbines des moteurs d'avion, des centrales à gaz, mais aussi pour des fours métallurgiques et autres. Les alliages lourds à 90-98 % W sont utilisés pour leur densité (contrepois, munitions) ou la radioprotection.

Le tungstène-métal est utilisé pour l'éclairage (filaments des ampoules à incandescence et des ampoules halogènes, électrodes des tubes et ampoules à décharge basse et haute pression), des contacteurs électroniques, des résistances chauffantes de fours industriels, les appareils à rayons X. Il devrait être utilisé à terme comme partie de revêtement de la chambre à plasma d'ITER.

Des composés chimiques du tungstène sont utilisés en catalyse, pour des pigments, des luminophores, lasers, etc.

Mi-2011, des analystes prévoient une croissance de la consommation d'environ 5,7 % par an, dont 7 % pour la Chine, avec une croissance plus modérée pour les carbures cémentés et les alliages mais plus forte pour le tungstène métal, amenant la consommation globale de tungstène primaire à 100 kt en 2016. Les développements les plus récents de la crise économique pourraient affecter ces prévisions.

Substituabilité

Dans les carbures cémentés, le tungstène peut être substitué par des carbures de molybdène ou de titane, des céramiques ou des composites céramiques-métal, ou certains aciers. Certains aciers au tungstène peuvent être remplacés par des aciers au molybdène. Mais de telles substitutions conduisent généralement à des performances moindres et même parfois à des prix supérieurs.

Pour les usages de haute densité et pour les projectiles de percements de blindages, de l'uranium appauvri peut être substitué au tungstène, mais avec les problèmes de radioactivité qui en découlent.

Dans les filaments d'ampoules, le basculement progressif dans une partie du monde vers des ampoules basse consommation a un impact limité sur la consommation de tungstène, puisque celui-ci reste utilisé pour les filaments des ampoules halogènes et pour les électrodes des lampes à décharge (ampoules et tubes fluorescents pour l'éclairage domestique, lampes à décharge haute pression pour l'éclairage public).

Ressources

L'abondance moyenne du tungstène dans la croûte terrestre est estimée à 1,25 ppm (1,25 g/t), équivalente à celle du molybdène, mais onze fois moindre que celle du plomb.

Les gisements de tungstène sont pratiquement toujours liés à des intrusions de roches granitoïdes. Les types principaux sont :

- les filons et stockwerks de quartz à wolframite, associés à des leucogranites très évolués, et associés spatialement à la cassitérite, et
- les skarns à scheelite, formés par métamorphisme de contact d'un granite dans un encaissant calcaire ;
- dans certains porphyres à molybdène ;
- dans des gîtes de type stratiforme à scheelite (métamorphisme régional).

La plupart des gisements sont exploités principalement pour le tungstène et accessoirement pour l'étain et quelques autres métaux associés (bismuth, etc.). Le tungstène est plus rarement un sous-produit, par exemple du molybdène dans certains porphyres.

La dimension des gisements exploités est généralement de quelques dizaines de milliers de tonnes de W contenu, plus exceptionnellement de quelques petites centaines de milliers de tonnes. Des gisements encore plus petits (moins de 10 000 t) sont parfois exploités à petite échelle ou même artisanalement (Bolivie, Afrique des Grands Lacs).

Les réserves mondiales identifiées sont évaluées à 3,1 Mt de tungstène contenu, et les « réserve base » étaient évaluées par l'USGS à 6,3 Mt en 2009. Elles correspondraient respectivement à 43 et 87 années de production minière au rythme de 2011. Plus de 60 % de ces réserves sont situées en Chine, essentiellement dans le sud-est (Hunan, Jiangxi et Guangdong). L'évaluation des réserves et des ressources reste cependant imprécise (plusieurs pays, et en particulier la Chine, ne publient pas les ressources et réserves de chaque gisements aux normes occidentales actuelles telles que le JORC ou le NI43-101). Les possibilités de découvertes de nouveaux gisements ou nouvelles ressources sont encore importantes, et des gisements qui avaient été mis en sommeil en période de prix faibles pourraient être reconsidérés.

Ressources en France

La France métropolitaine dispose de nombreux indices et de quelques gisements de tungstène dont 13 ont été exploités à des degrés divers au cours du XX^{ème} siècle.

Ce sont des champs de veines à quartz-wolframite associés aux granites hercyniens dans le Massif Central (Montredon-Labessonnié, Leucamp, Engualès, Puy-les-Vignes, Échassières) et le Massif Armoricaïn (Montbelleux), et des skarns à scheelite, dans les Pyrénées (Salau) ou l'Esterel (La Favière). Cinq d'entre eux ont produit plus de 1 000 t de tungstène (Salau, Puy-les-Vignes, Échassières, Leucamp et Engualès). Trois gisements ont encore des ressources connues supérieures à 10 kt de trioxyde de tungstène (WO₃) : Montredon-Labessonnié et Fumade dans le Tarn et Coat-an-Noz dans les Côtes d'Armor.

Production

La production mondiale de tungstène primaire se serait montée à près de 72 100 t de tungstène contenu en 2011, assurée à près de 85 % par la Chine. Le reste est produit dans une quinzaine de pays, la Russie (4 %), le Canada (2,7 %), l'Autriche, le Portugal, l'Espagne, le Pérou, le Vietnam, la Bolivie (de l'ordre de 1 % chacun) et quelques autres en plus faible quantité. Les chiffres publiés sont cependant variables d'une source à l'autre, les estimations récentes de production chinoise varient de +/- 10 % selon les sources, et la production étatsunienne est gardée confidentielle.

Le principal producteur minier chinois est China Minmetals Nonferrous Metals Co Ltd (CMN), du groupe d'État China Minmetal Corp., à travers ses filiales Jiangxi Tungsten Industry Group (51 % CMN – 49 % Province du Jiangxi, 8 mines exploitées), Jiangxi Xianglushan Tungsten Co (qui exploite la mine de Xianglushan, la plus grosse mine de scheelite du monde), Xiamen Tungsten Co. (2 mines), Hunan Non Ferrous Metals Holding Group (51 % CMN, 2 mines). Parmi les autres producteurs, on peut citer Guangdong Rising Nonferrous Metals Group et Jiangxi Yaosheng Industry and trade Development Co.

Le principal producteur russe est la JV JSC Primorsky GOK & JSC A&IR Mining qui exploite la mine de Primorsky (1 848 t W contenu produits en 2010).

Les principaux producteurs miniers occidentaux de tungstène sont :

- au Canada : la société canadienne North American Tungsten exploite la mine de Cantung, dans les Territoires du Nord-Ouest (1 966 t W contenu produites en 2011), et développe le projet de mine de Mactung, au Yukon ;
- en Autriche : la société autrichienne Wolfram Bergbau und Hütte (WBH), filiale du suédois Sandvik AB, exploite la mine de Mittersill, dans la Province de Salzbourg (972 t de W contenu produites en 2010) ;
- au Portugal, la société japonaise Sojitz exploite la mine de Panasqueira (975 t W contenu en 2010).

- en Espagne : la société canadienne Almonty Industries exploite la mine de Los Santos, dans la Province de Salamanque (807 t de W contenu en 2011) ;
- au Pérou : la société canadienne Malaga exploite la mine de Pasto Bueno (439 t W contenu produites en 2011).

Les entreprises chinoises traitent leurs concentrés et commercialisent surtout des produits intermédiaires (APT, oxyde, ferrotungstène, voire poudres de tungstène métal et de carbure de tungstène). L'autrichien WBH assure aussi la transformation de ses concentrés en produits intermédiaires. Les autres producteurs écoulent généralement leur production sous forme de concentrés, souvent avec des contrats d'off-take.

Les producteurs de produits transformés (APT, oxydes, ferrotungstène, tungstène métal, carbure de tungstène) à partir de concentrés ou à partir des produits de base (APT et oxydes) sont nombreux et largement répartis dans le monde (États-Unis, Japon, Europe, etc.).

Les ressources en terre et les perspectives actuelles d'ouvertures de nouvelles exploitations minières hors Chine devraient pouvoir, au moins globalement, satisfaire la croissance attendue de la demande dans les prochaines années, à condition d'un maintien des prix à un niveau élevé pour garantir la viabilité des nouvelles exploitations.

Recyclage

Les rebuts de production (environ 10 % de la consommation de tungstène) sont systématiquement recyclés. Parmi les produits en fin de vie, environ un quart du tungstène contenu serait recyclé. Le recyclage des carbures cimentés est assez répandu et performant (procédé au zinc).

Le tungstène secondaire (issu du recyclage) contribuerait pour environ 1/4 à 1/3 des approvisionnements mondiaux.

Prix

Les prix du tungstène sont généralement publiés pour les concentrés, pour l'APT, les oxydes, le ferrotungstène et le carbure de tungstène, avec des évolutions moyennes assez similaires. Les prix ont fortement augmenté, par paliers, au cours de la décennie passée et jusqu'à mi-2011. Celui de l'APT a atteint un record de 480 US\$/mtu⁴ (soit 60,5 US\$/kg de tungstène contenu) en juin 2011, alors qu'il n'était que de 7,4 US\$/kg W en moyenne en 2002-2003 et 31,4 US\$ en moyenne sur 2006-2008. Depuis juillet 2012, le prix s'est légèrement tassé, à 50,4 US\$/kg mi-juin 2012.

⁴ Source : www.metal-pages.com, moyenne de la fourchette du prix bas (460 \$/mtu) et du prix haut (500 US\$/mtu) du 31 mai au 7 juin 2011.

Les acteurs français

Plusieurs sociétés françaises sont impliquées dans la transformation de produits tungstifères à partir de produits intermédiaires importés ou de recyclage :

Eurotungstène, filiale d'Eramet, basée à Grenoble, produit des poudres de tungstène, de cobalt, de carbure de tungstène, et des poudres pré-alliées.

Erasteel, aussi une filiale d'Eramet, produit entre autres des aciers rapides au tungstène.

Plansee Tungsten Alloys, anciennement *Cime Bocuze* acquis en 2010 par le groupe autrichien Plansee, produit en France des poudres et alliages de tungstène, de molybdène, y compris des alliages tungstène-rhénium.

Technogenia produit de la poudre de tungstène et des carbures de tungstène.

Hexametal produit des pièces pré-formées en carbure cémenté.

Saint-Gobain produit (entre autres) des revêtements en carbures cémentés pour outils de forage, les fonderies, les cimenteries.

Au niveau des utilisations finales, le tungstène est utilisé souvent sous forme d'aciers au tungstène et d'alliages pour ses qualités apportées de résistance à haute température, dans les secteurs de l'aérospatiale (moteurs d'avions et de fusées), de l'énergie et de l'armement. Parmi les sociétés concernées, on pourra citer, de manière non exhaustive, EADS et sa filiale Airbus, Safran et ses filiales Snecma, Turbomeca et Eurocopter, Dassault Aviation, Thalès, MBDA, etc.

Le tungstène est aussi et surtout utilisé sous forme de carbures cémentés pour les outils de coupe et d'usinage des métaux pour les processus de production dans toutes les industries françaises qui travaillent les métaux, les industries automobiles et leurs sous-traitants, les constructions ferroviaires et aérospatiales, les chantiers navals, les constructions mécaniques, l'armement etc. Il est aussi utilisé pour les lames et pelles des engins de travaux publics, les carrières, les outils de forage, le travail du bois et des plastiques.

Il devrait composer une partie du revêtement de la chambre à plasma du réacteur de fusion thermonucléaire expérimental ITER (le « divertor »).

Il reste utilisé par les fabricants d'ampoules d'éclairage (en France : GE-France, Philips-Éclairage- France, Osram Sasu, Aric).

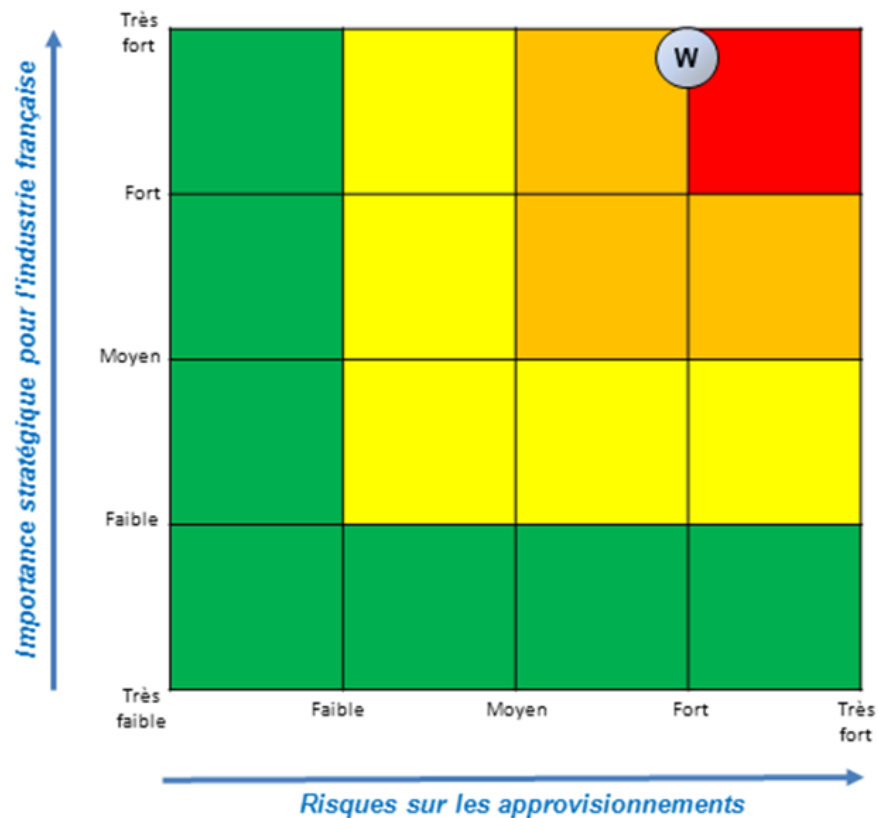
Commerce extérieur

Les postes des matières premières et produits intermédiaires de tungstène du commerce extérieur français sont globalement nettement déficitaires, et avec un déficit croissant, passé de 43 M€ en 2010 à 62 M€ en 2011, pour la plus grande part avec la

Chine (importation d'oxydes, APT et ferrotungstène) mais aussi avec l'Autriche (importation de poudres de tungstène et carbures).

Criticité

**EVALUATION DE LA CRITICITE DU TUNGSTENE
(Synthèse)**



Zone à forte criticité. Actions conservatoires à prendre par l'Etat. Suivi de l'évolution des indicateurs de criticité



Zone à forte criticité. Veille active recommandée (observation continue des marchés, alertes, proposition de scénarios de parade)



Zone à criticité moyenne. Veille spécialisée recommandée (rédaction d'un rapport mis à jour annuellement)

Sommaire

Résumé	5
1. Introduction	19
1.1. DÉFINITIONS	19
1.2. CONDITIONS ET LIMITES DE RÉALISATION DE CETTE ÉTUDE	20
1.3. SOURCES DES DONNÉES.....	20
2. Le tungstène.....	23
2.1. DONNÉES DE BASE	23
2.2. HISTORIQUE	24
2.3. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.....	25
2.4. PROPRIÉTÉS CHIMIQUES	25
2.5. PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES ET TOXICITÉ.....	26
2.6. UNITÉS ET FACTEURS DE CONVERSION.....	26
3. La demande : usages et consommation.....	27
3.1. USAGES DU TUNGSTÈNE PAR FILIÈRES	27
3.1.1. Les carbures cémentés	28
3.1.2. Les aciers et les alliages	29
3.1.3. Le tungstène métal.....	32
3.1.4. Les composés chimiques du tungstène.....	35
3.2. CONSOMMATION	36
3.2.1. Évolution récente de la consommation	36
3.2.2. Perspectives d'évolution de la demande.....	37
3.3. SUBSTITUTIONS.....	38
4. L'offre : ressources et production mondiale.....	39
4.1. LES SOURCES DE TUNGSTÈNE	39
4.1.1. Abondance du tungstène dans l'écorce terrestre.....	39
4.1.2. Minéraux et minerais	39
4.1.3. Principaux types de gisements.....	40

4.2. RESSOURCES ET RÉSERVES.....	43
4.2.1. Évaluation globale des ressources et réserves en tungstène	43
4.2.2. Les gisements de tungstène dans le monde.....	45
4.2.3. Les gisements et ressources de tungstène en France.....	50
4.3. PRODUCTION	53
4.3.1. Statistiques de production courante.....	53
4.3.2. Production historique.....	55
4.4. PROCÉDÉS DE PRODUCTION.....	56
4.4.1. Extraction minière.....	56
4.4.2. Minéralurgie, concentration des minerais	56
4.4.3. Production du paratungstate d'ammonium.....	57
4.4.4. Production des oxydes de tungstène et de l'acide tungstique	60
4.4.5. Production du tungstène métallique.....	60
4.4.6. Production de la poudre de carbure de tungstène	60
4.4.7. Production du ferrotungstène	60
4.5. RECYCLAGE	60
4.5.1. Statistiques de recyclage.....	60
4.5.2. Procédés de recyclage	62
4.6. LES LIMITES DE L'OFFRE : REGLEMENTATIONS ET PROCÉDURES.....	63
4.6.1. Les quotas chinois.....	63
4.6.2. La loi Dodd Frank	63
4.7. STOCKAGES STRATÉGIQUES ET DÉSTOCKAGES	64
4.7.1. États-Unis.....	64
4.7.2. Japon	65
4.7.3. Autres pays	65
4.8. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION.....	65
5. Prix du tungstène	67
5.1. ÉVOLUTION RÉCENTE DES PRIX	67
5.2. ÉVOLUTION HISTORIQUE DES PRIX	70
5.3. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION FUTURE DES PRIX.....	71
6. La filière industrielle.....	73
6.1. LES PRINCIPAUX PRODUCTEURS MINIERS DE TUNGSTÈNE	73
6.1.1. Producteurs miniers en Europe	73

6.2. LES PRINCIPAUX TRANSFORMATEURS, FABRICANTS DE PRODUITS INTERMÉDIAIRES ET RECYCLEURS DE TUNGSTÈNE	76
6.2.1. En France	77
6.2.2. Dans le reste de l'Europe	78
6.2.3. Dans les Amériques :	81
6.2.4. En Asie.....	84
6.2.5. En CEI.....	89
6.3. LES UTILISATEURS FRANÇAIS FINAUX	90
6.3.1. Industrie aéronautique, spatiale et de défense	91
6.3.2. Nucléaire	92
6.3.3. Industrie automobile	92
6.3.4. Éclairage	92
6.3.5. Matériaux	92
6.3.6. Industries diverses	93
7. Commerce extérieur de la France	95
8. Criticité.....	103
9. Bibliographie	105

Liste des figures

Figure 1 - Position du tungstène (W) dans le tableau périodique des éléments.	23
Figure 2 - Cylindre de tungstène à 99,95 % W	25
Figure 3 - Répartition des usages du tungstène par filières dans le monde (à gauche) et en Chine (à droite) en 2010 (ITIA, 2012 ; Roskill, 2011, Antaike, 2011).	27
Figure 4: Différentes applications du carbure de tungstène : à gauche : filière de tréfilage ronde (© www.itia.com); au milieu, différents forets ; à droite, trépan pour forage rotatif à dents en WC fabriqué par Sandvik (© http://mining.sandvik.com).	28
Figure 5 - Répartition des usages du carbure de tungstène par filière industrielle (source : Monier et al., 2010, d'après ITIA, 2008).....	29
Figure 6 : Volets et ailerons (flèches) d'avions dont le système de contreponds est en alliage lourd de tungstène (© www.itia.com).	31
Figure 7 - Filament en tungstène métal d'une ampoule à incandescence.	32
Figure 8 - Schéma de la chambre à vide d'Iter et de son "divertor" en formant le plancher, en carbone et tungstène (© www.iter.org).	34

Figure 9 - Évolution de la consommation de tungstène (primaire) depuis 1990 et perspectives d'évolution d'ici 2016 (source : Roskill, 2011), avec évolution de la production depuis 1965 (source : USGS).....	36
Figure 10 - Répartition géographique de la consommation de tungstène (primaire) en 2010 (source : Roskill, 2011).....	37
Figure 11 - À gauche, wolframite (noir à éclat submétallique) et quartz (blanc), Leucamp (Cantal, France). À droite : cristal de scheelite (photo de Cayeux).....	40
Figure 12 - Répartition des réserves mondiales en tungstène par pays (d'après USGS, 2012).....	43
Figure 13 - Répartition par province des ressources chinoises en tungstène (adapté d'après Roskill, 2011).....	44
Figure 14 - Localisation des principaux gisements mondiaux de tungstène et des mines en production (mars 2012) (BRGM, 2012 ; BGS, 2011 ; USGS-MRDS, 2012 ; RMD, 2012).	46
Figure 15 - Les anciennes exploitations minières de tungstène en France métropolitaine	51
Figure 16 - Potentiel des gisements à tungstène en France métropolitaine (BRGM).....	52
Figure 17 - Répartition de la production minière mondiale de tungstène en 2010.	55
Figure 18 - Évolution historique de la production mondiale de tungstène primaire	56
Figure 19 - Schéma du traitement des minerais de tungstène à l'usine de Xihuashan, en Chine (traduit et adapté par Pastor, 2000, d'après Zhao Quinsheng in Lassner & Schubert, 1999).....	58
Figure 20 - Schéma simplifié de production du paratungstate d'ammonium (adapté d'après Lassner et Schubert, 1999, Pastor, 2000, Roskill, 2011).	59
Figure 21 - Schéma du bilan du recyclage du tungstène	61
Figure 22 - Évolution du prix du paratungstate d'ammonium (APT) depuis 2001.....	69
Figure 23 - Évolution des prix de l'APT, du ferrotungstène, du carbure de tungstène et des oxydes de tungstène depuis 2002-2004 (source : www.metal-pages.com).	69
Figure 24 - Évolution historique du prix du tungstène depuis 1935	70
Figure 25 - Évolution récente de la production et de la consommation primaire et des prix du tungstène depuis 1985, et tendances d'évolution pour 2012-2016.....	71
Figure 26 - Article paru dans le Western Morning News (Devon), journal local du Devon, le 11 juin 2012	76
Figure 27 - Pièces pré-formées en carbure de tungstène de la société Hexametal	78
Figure 28 - Schéma d'un moteur d'avion (© ITIA, www.itia.info/supperalloys.html)	91
Figure 29 - Synthèse de la criticité du tungstène.	103

Liste des tableaux

Tableau 1 - Les isotopes du tungstène.....	24
Tableau 2 - Composition typique de l'acier inoxydable "super duplex" (ITIA, 2012).....	30
Tableau 3 : Compositions de plusieurs références de superalliages monocristallins au nickel (en %)	31
Tableau 4 - Les principaux composés chimiques industriels du tungstène et leurs usages (d'après Roskill, 2009)	35
Tableau 5 - Les principaux minéraux de tungstène exploités.....	39
Tableau 6 - Récapitulatif des réserves identifiées en tungstène par pays, en kt de W contenu, selon USGS (Shedd, 2009 & 2012)	43
Tableau 7 - Les principaux gisements de tungstène en exploitation.....	47
Tableau 8 - Principaux projets de redémarrage d'anciennes mines de tungstène et nouveaux projets en étude ou développement avancé.	49
Tableau 9 - Les principaux gisements de tungstène en France métropolitaine.	50
Tableau 10 - Production minière de tungstène par la Chine selon les sources.	53
Tableau 11 - Répartition de la production minière mondiale de tungstène en 2010 et 2011	54
Tableau 12 - Production de tungstène secondaire aux États-Unis (source : USGS)	62
Tableau 13 - Teneurs en tungstène des différents matériaux des déchets.....	62
Tableau 14 - Déstockage annuel brut du stock de défense étatsunien de tungstène, selon l'USGS (1998 à 2012)	64
Tableau 15 - Liste des produits tungstifères dont les prix sont publiés par Metal Bulletin, et fourchette des prix en date du 15 juin 2012.....	67
Tableau 16 - Statistiques françaises d'import-export de tungstène, de minerai, d'ouvrages et de déchets de tungstène. Données CAF-FAB hors matériel militaire.	97

1. Introduction

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la Convention 2011 n°2100485270 relative aux eaux souterraines, aux ressources minérales, au littoral et à l'organisation des connaissances sur la nature et les paysages, signée le 31 août 2011 entre la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et le BRGM.

1.1. DÉFINITIONS

Le glossaire ci-dessous donne la définition de certains termes utilisés de manière récurrente dans ce rapport. Il importe, notamment pour permettre des comparaisons entre différentes sources nationales et internationales relatives aux matières premières minérales, que ces termes soient utilisés de manière standardisée et rigoureuse. C'est malheureusement loin d'être le cas, des termes aussi importants que ressources et réserves étant utilisés de manière disparate.

Criticité : cette étude vise notamment à déterminer les facteurs de criticité pouvant impacter la sécurité des approvisionnements nécessaires aux industries françaises utilisant la/les matière(s) première(s) minérale(s) étudiée(s). Les facteurs sont déterminés et notés selon la grille suivante :

Évaluation de la criticité	Note
Très forte	5
Forte	4
Moyenne	3
Faible	2
Très faible	1

Gisement : concentration naturelle de minéraux, économiquement exploitable.

Indice ou prospect : il s'agit d'une minéralisation dont l'existence est connue grâce à des observations de terrain, éventuellement étayées par quelques sondages et petits travaux miniers (tranchées, galeries de reconnaissance...) et/ou par des observations indirectes (géochimie, géophysique) mais dont l'intérêt économique n'est pas encore démontré.

Minéral/minéraux : désigne une substance inorganique, d'origine naturelle, caractérisée par sa formule chimique et par l'arrangement de ses atomes selon une structure géométrique particulière.

Minerai : désigne une roche contenant une concentration d'un ou plusieurs minéraux en quantité suffisante pour être économiquement exploitable.

Minéralisation : désigne une concentration naturelle élevée de minéraux dont l'exploitation pourrait présenter un intérêt économique. Il s'agit d'un concept plus large que le terme minerai qui, dans les gisements, désigne la partie exploitable de la minéralisation.

Primaire : ce qualificatif, appliqué à un métal, ou à une production de métal, indique du métal produit à partir d'un minerai, en dehors de tout recyclage.

Potentiel géologique : il s'agit d'une première estimation, basée sur des critères et des raisonnements géologiques, de l'existence de gisements dans une région ou un pays.

Réserves : il s'agit de la partie de la ressource dont l'exploitabilité technologique et économique a été démontrée lors d'une étude de faisabilité.

Ressource : il s'agit d'une minéralisation dont l'enveloppe et le volume ont fait l'objet de premières estimations, à l'aide de sondages, de petits travaux miniers, de prospection en surface et/ou d'observations indirectes par géochimie, géophysique, etc. Les ressources sont qualifiées de "inférées", "indiquées" et "mesurées" par ordre de précision croissante obtenue en fonction de la quantité et du détail des travaux réalisés.

Secondaire : ce qualificatif, appliqué à un métal, ou à une production de métal, indique du métal produit à partir du recyclage de déchets, qui peuvent être des produits manufacturés usagés en fin de vie, mais aussi des chutes de fabrication (copeaux, poussières, coulures, bavures, etc.).

1.2. CONDITIONS ET LIMITES DE RÉALISATION DE CETTE ÉTUDE

Cette étude a été réalisée par le Service Ressources Minérales du BRGM, appuyé par la Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS), dans le cadre d'un contrat de sous-traitance. La complexité, l'opacité de la filière, la rareté de la documentation ainsi que le temps limité disponible pour réaliser cette étude en conditionnent le contenu.

Malgré l'utilisation des meilleures sources ouvertes disponibles et le soin apporté à la rédaction de cette étude, le BRGM n'est pas en mesure de garantir l'exactitude des informations et des données citées. L'industrie du tungstène n'est pas toujours transparente et les données ouvertes peuvent être incomplètes et/ou sujettes à erreurs, intentionnelles ou non.

À noter que le tungstène fait partie des 14 substances minérales considérées comme particulièrement critiques dans le cadre de l'étude sur les matières premières critiques pour l'Union Européenne (« Critical Materials for the E.U. ») publiée le 30 juillet 2010 par la Commission Européenne dans le cadre de l'Initiative Matières Premières.

1.3. SOURCES DES DONNÉES

Le présent rapport a été produit à partir de l'importante documentation technique du BRGM, incluant notamment (voir liste bibliographique en fin de rapport) :

- les bases de données et rapports publics de l'United States Geological Survey (USGS) (Shed, 2009, 2010, 2011) ;

- le document « Tungsten: Market Outlook to 2016, 10th Edition 2011 », une étude spécialisée sur le tungstène produite par Roskill Information Services Ltd en octobre 2011 ;
- les documents « Métallurgie et recyclage du tungstène » (Pastor, juin 2008) publié par « Techniques de l'Ingénieur » ;
- le document « Tungsten » publié par le British Geological Survey (BGS) en 2011 ;
- le document « Tungsten, Heavy Metal » (Vulcan, T, décembre 2008) publié par Hard Assets Investors, le site d'information de la société américaine de gestion de placements Van Eck and Associates ;
- la documentation en ligne de la « International Tungsten Industry Association » (ITIA) (www.itia.info) ;
- le rapport sur les matières premières stratégiques de la Commission Européenne de juin 2010 ;
- Le document « Les gisements de tungstène en France, situation en 1990 », réalisé par le BRGM, ainsi que de nombreux rapports et études sur les gisements de tungstène réalisés par le BRGM dans les années 1960-1980 ;

ainsi que nombre d'informations ouvertes rassemblées ou consultées dans le cadre de cette étude, et en particulier les sites Internet des sociétés productrices ou consommatrices.

2. Le tungstène

2.1. DONNÉES DE BASE

Le tungstène (W) est un élément métallique du groupe VI-B (6) du tableau de Mendeleïev (Fig;1), qui comprend aussi le chrome et le molybdène :

- symbole : W ;
- numéro atomique : 74 ;
- masse atomique : 183,84 ;
- abondance dans la croûte terrestre : 1,25 ppm (1,25 g/t) (cf. 4.1.1).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	Lan- thanides	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Acti- nides															
Lan- thanides :	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Acti- nides :	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

Figure 1 - Position du tungstène (W) dans le tableau périodique des éléments.

Il existe cinq isotopes naturels stables du tungstène. D'autres isotopes, instables et radioactifs, ont été produits artificiellement (Tab.1).

Isotope	Abondance naturelle	Période radioactive
¹⁸⁰ W	0,13 %	stable (> 10 ¹⁸ ans)
¹⁸¹ W	artificiel	121,2 jours
¹⁸² W	26,50 %	stable (> 10 ¹⁸ ans)
¹⁸³ W	14,31 %	stable (> 10 ¹⁸ ans)
¹⁸⁴ W	30,64 %	stable (> 10 ¹⁸ ans)
¹⁸⁵ W	artificiel	75,1 jours
¹⁸⁶ W	28,43 %	stable (> 10 ¹⁸ ans)
¹⁸⁷ W	artificiel	23,9 heures

Tableau 1 - Les isotopes du tungstène.

2.2. HISTORIQUE

La wolframite (tungstate naturel de fer et de manganèse) était connue des mineurs de l'Erzgebirge au 16^{ème} siècle, sous le nom de wolfram, comme impureté pénalisante des minerais d'étain⁵. En 1750, un autre minéral de tungstène, le tungstate naturel de calcium (désormais appelé scheelite), était découvert dans la mine de Bispberg en Suède. Ce minéral a été nommé « tungsten » en 1757 par Axel Frederik Cronstedt, du suédois *tung sten* (pierre lourde), en raison de sa densité élevée (densité 6,1). En 1781, le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele a déterminé que ce « tungstène » (la scheelite) était composé de chaux et d'un nouvel acide, l'acide tungstique. L'espagnol Juan Jose d'Elhuyar, après des études à l'Université d'Uppsala, en Suède, poursuivit des travaux sur ces produits et, en 1783, de retour en Espagne, montra que le wolfram de Zinnwald (Erzgebirge) était un sel de fer et de manganèse du même acide que la scheelite. Il isola pour la première fois le métal par réduction de l'oxyde tungstique au charbon de bois, ce qu'il publia en 1783 avec son frère Fausto Jermin d'Elhuyar, en dénommant le métal wolfram, d'après le nom d'alors de son minéral allemand.

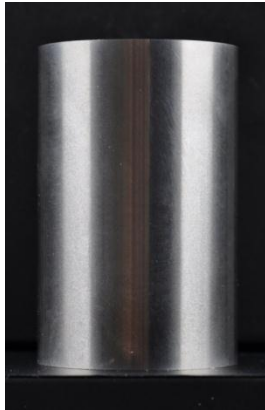
Le métal a conservé son nom de *Wolfram* en allemand (d'où le symbole chimique W), mais l'usage est plutôt de l'appeler tungstène en français, et *tungsten* en anglais.

Un brevet pour une production industrielle du métal fut déposé en 1847, et pour des aciers au tungstène en 1858 et 1868. Les ampoules lumineuses à filament de tungstène ont été brevetées en 1904, et la filière des carbures de tungstène a émergé à partir de 1913.

⁵ Le surnom de Wolfram (*Wolf Rahm*, bave de loup) aurait été donné à ce minéral par les mineurs de l'Erzgebirge parce que sa présence diminuait le rendement de la production d'étain, comme s'il était « dévoré par les loups ». Agricola cite ce minéral sous le nom de *Spuma Lupi* en 1546, et la première mention écrite du mot *Wolfram* figure dans un manuscrit de J. Mathesius de 1564.

Un historique très détaillé et très complet est publié par International Tungsten Industry Association (ITIA, www.itia.info).

2.3. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES



Le tungstène pur est un métal dur de couleur gris acier (Fig.2) :

- densité : 19,25 ;
- dureté Mohs : 7,5 ;
- point de fusion : 3 422 °C ;
- point d'ébullition : 5 555 °C.

Figure 2 - Cylindre de tungstène à 99,95 % W

Le tungstène est extrêmement réfractaire. C'est, de tous les métaux, celui qui a le point de fusion le plus élevé.

C'est aussi le métal qui a le plus faible coefficient de dilatation thermique, et la plus grande résistance à la traction à haute température (au-delà de 1 650 °C).

Avec une densité de 19,25, c'est l'un des métaux les plus denses, avec une densité très proche de celle de l'or (19,3), et qui n'est surpassée, dans la nature, que par le rhénium et les trois platinoïdes lourds (osmium, iridium, platine), ainsi que par les éléments transuraniens artificiels neptunium et plutonium.

Le tungstène est un métal dur (7,5 sur l'échelle de Mohs). L'ajout de tungstène à l'acier augmente notablement la dureté et la résistance à la chaleur de ce dernier. Le carbure de tungstène (WC) est un matériau très dur (dureté proche de 9) et est largement utilisé pour des outils de coupe et de pièces d'usure dans de nombreuses applications.

2.4. PROPRIÉTÉS CHIMIQUES

Le tungstène a divers états d'oxydation de -4 à +6, mais le plus commun et le seul présent dans la croûte terrestre est l'état d'oxydation +6 (tungstates, WO_3 , $(Fe,Mn)WO_4$, $CaWO_4$ etc.).

Le tungstène métallique résiste bien à la corrosion. À température ambiante, il n'est attaqué que par le fluor et le mélange acide fluorhydrique - acide nitrique. À 100-110 °C, il est attaqué par l'eau régale, l'eau oxygénée, et par des solutions de soude ou de potasse en milieu oxydant. Au-delà de 250 °C, il réagit avec davantage de composés.

Le tungstène s'oxyde à l'air à partir de 400 °C, formant d'abord une couche d'oxyde bleu ($\sim\text{WO}_{3-x}$), puis se transforme en oxyde jaune WO_3 qui commence à s'évaporer à partir de 800 °C.

2.5. PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES ET TOXICITÉ

Le tungstène n'a pas de fonction biologique connue.

Contrairement à de nombreux autres métaux lourds, il n'a pas de forte toxicité et n'est pas allergisant. D'éventuels composés solubles du tungstène ingérés sont rapidement éliminés dans l'urine et les selles. Les éventuelles intoxications sont exceptionnelles et ne concernent que de très fortes expositions professionnelles.

Selon certaines recherches, une solution diluée de tungstate de sodium aurait des propriétés thérapeutiques contre la cataracte et certains ulcères (estomac, duodénum), et des propriétés antidiabétiques.

2.6. UNITÉS ET FACTEURS DE CONVERSION

Les données quantitatives et statistiques publiées sur le tungstène utilisent diverses références : Les ressources et réserves minières sont souvent publiées en tonnes de WO_3 . Les productions minières peuvent être publiées en tonnes de WO_3 ou encore en tonnes de W contenu. Les prix sont souvent publiés en US\$ par « mtu » pour "metric tonne unit" d'un produit tungstifère, par exemple le paratungstate d'ammonium, qui est la quantité de ce produit qui contient 1 % d'une tonne métrique de WO_3 , c'est-à-dire 10 kg de WO_3 , soit 7,931 kg de W.

1 t de WO_3 contient 0,7931 t de W.

3. La demande : usages et consommation

Le tungstène est utilisé pour ses propriétés réfractaires (le plus haut point de fusion de tous les métaux) en particulier en électrotechnique (filaments de lampes, électrodes, contacts, résistances chauffantes, etc.), pour sa densité, l'une des plus élevées des métaux non précieux (contreponds, projectiles militaires), pour sa capacité d'alliage en particulier dans les aciers, donnant des « aciers rapides », mais aussi est surtout sous forme de carbure de tungstène cémenté, grâce à sa dureté, pour des outils de coupe et pièces d'usure.

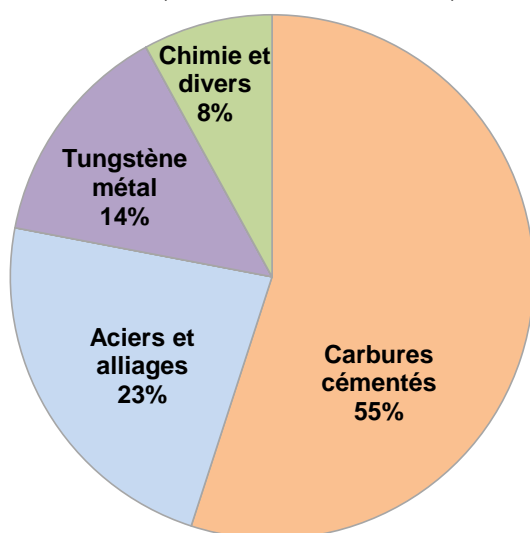
3.1. USAGES DU TUNGSTÈNE PAR FILIÈRES

Le tungstène est utilisé dans six filières principales qui se répartissent comme suit en 2010 (pourcentages légèrement variables selon les sources (ITIA, Roskill, 2011)) :

- le carbure de tungstène et les carbures cémentés : 55 % ;
- les aciers au tungstène : 22,4 à 23 % ;
- le tungstène métal : 12,7 à 14 % ;
- les alliages et superalliages de tungstène : 2,5 % ;
- les alliages lourds : 0,7 à 1,4 % ;
- les composés chimiques du tungstène et divers : 6 à 8 % ;

pour une consommation totale de tungstène primaire estimée à 70 750 t W en 2010.

Répartition approximative des filières d'usages du tungstène dans le monde en 2010 (sources mixées ITIA, Roskill)



Répartition des filières d'usages du tungstène en Chine en 2010 (source : Roskill)

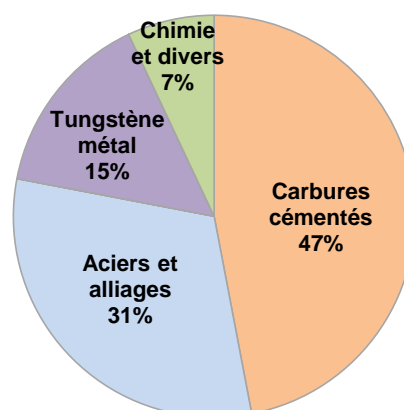


Figure 3 - Répartition des usages du tungstène par filières dans le monde (à gauche) et en Chine (à droite) en 2010 (ITIA, 2012 ; Roskill, 2011, Antaïke, 2011).

3.1.1. Les carbures cémentés

Les carbures cémentés (ou frittés) sont des matériaux très durs, très résistants et réfractaires obtenus à partir de grains monocristallins de carbure de métal (ou, plus rarement, de carbonitride de métal comme TiCN) maintenus dans une matrice de liaison à base de nickel, de fer ou de cobalt. Les carbures cémentés les plus fréquents sont ceux de tungstène (WC), de titane (TiC) et de tantale (TaC).

Le carbure de tungstène possède une dureté de 9,0 sur l'échelle de Mohs, il ne peut donc être rayé que par le diamant et certains alliages spéciaux. Il présente également l'avantage de conserver ses propriétés jusqu'à des températures très élevées (température de fusion : 2 870 °C).

La combinaison de la bonne dureté, résistance et ténacité de ce matériau permet de l'utiliser dans une large gamme d'applications, telles que :

- outils d'usinage et de coupe (scies, forets, fraises, outils de tour, poinçons, ...)
- filières de tréfilage ou de compactage ;
- revêtement de matériaux pour en diminuer l'usure ;
- outils de gros œuvre et de travaux publics (aplanissement de terrain, récupération de l'asphalte, têtes d'outils de forage, tunneliers, ...)
- autres (billes de stylos, munitions perce-blindage, bijouterie...)



Figure 4: Différentes applications du carbure de tungstène : à gauche : filière de tréfilage ronde (© www.itia.com); au milieu, différents forets ; à droite, trépan pour forage rotatif à dents en WC fabriqué par Sandvik (© <http://mining.sandvik.com>).

Les carbures de tungstène s'utilisent sous des granulométries qui s'échelonnent de l'ultra-fine (< 0,5 µm) à la grossière (> 5,0 µm). Plus la poudre est fine, plus la dureté du matériau est élevée. Le secteur des poudres ultra-fines est en plein essor du fait notamment de la miniaturisation de l'électronique. Ces matériaux peuvent, par exemple, être utilisés dans le perçage de trous très petits sur les circuits imprimés des ordinateurs.

Selon l'ITIA, les secteurs d'utilisation des carbures de tungstène se répartissent comme suit (Fig. 5) :

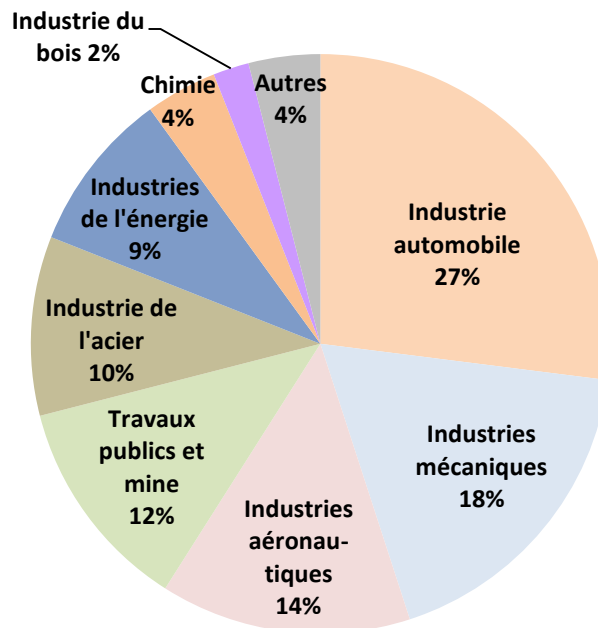


Figure 5 - Répartition des usages du carbure de tungstène par filière industrielle (source : Monier et al., 2010, d'après ITIA, 2008)

Le secteur des carbures cémentés aurait consommé environ 38 900 t de tungstène en 2010, soit 55 % de la consommation mondiale de tungstène.

Le développement des forages profonds et des forages multidirectionnels en particulier pour l'exploitation des hydrocarbures continuera à renforcer les besoins en carbures cémentés.

3.1.2. Les aciers et les alliages

Les aciers alliés au tungstène

Le tungstène entre dans certains aciers dans le but d'en améliorer certaines propriétés, comme leur dureté ainsi que l'efficacité et la vitesse de coupe d'outils. Historiquement, les aciers au tungstène étaient majoritairement destinés à la construction, mais leur consommation a sans cesse diminué depuis les années 1940 en raison de la substitution du tungstène par des associations molybdène et chrome ou titane et vanadium qui permettent d'obtenir de meilleures performances à un prix moindre.

Les trois principaux marchés pour les aciers alliés au tungstène sont (Roskill, 2011 ; ITIA, 2011 ; Becker J., 2011) :

- **les aciers à outils** : ils représentent 85 à 90 % de la demande en tungstène pour les aciers alliés. Il s'agit d'outils pour travail à chaud ou à froid principalement utilisés dans la découpe d'autres métaux, de bois ou de polymères. La teneur en tungstène de ces aciers varie en fonction des spécificités techniques attendues. Pour un travail à froid, des aciers à 0,5 à 3 % W sont utilisés. Pour un travail à

chaud, les teneurs utilisées sont de 1,5 à 18 % W. Les **aciers rapides** sont des aciers à outil contenant plus de 7 % de tungstène + molybdène + vanadium combinés. Les aciers rapides à tungstène dominant contiennent de 12 à 18 % de tungstène, ceux à molybdène dominant peuvent contenir encore entre 1,5 et 8 % W ;

- **les aciers inoxydables et résistants à la chaleur** : lorsqu'une forte résistance à la corrosion et à la fatigue est recherchée, des aciers ferritiques-austénitiques peuvent inclure une faible teneur en tungstène. De tels matériaux sont utilisés dans les installations en offshore, de traitement des eaux usées ou encore les systèmes de désalinisation de l'eau de mer. Ces aciers alliés spécialisés possèdent généralement une composition complexe où le tungstène n'entre qu'à hauteur de quelques pourcents maximum.

Composition typique de l'acier inoxydable « super duplex » (en % poids)									
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Nb	N
0,12	< 0,12	0,45	10,5	1,10	0,75	0,20	1,00	0,05	0,05

Tableau 2 - Composition typique de l'acier inoxydable « super duplex » (ITIA, 2012).

Le tungstène peut également être ajouté à des aciers utilisés dans des gammes de température élevées où il permet d'améliorer la stabilité dans le temps ainsi que la résistance au fluage. De tels alliages à base de nickel et de chrome contiennent jusqu'à 6 % de tungstène.

Les alliages et superalliages au tungstène

Les alliages de performance, ou superalliages, représentent 2,5 % de la consommation mondiale de tungstène et en restent donc un marché de niche. La demande et les fabricants sont essentiellement concentrés aux États-Unis et en Europe. Il ne peut pas être ajouté à tous les types d'alliages en raison de son haut point de fusion qui provoque la volatilisation de certains métaux avant alliage.

Ces superalliages sont recherchés pour un maintien du comportement du matériau à des températures élevées. Ils ont ainsi une bonne tenue et une bonne résistance au fluage à haute température et à la fatigue thermique. Ils s'oxydent difficilement, ont une excellente résistance à la corrosion chaude ainsi qu'une facilité de moulage. Ils sont ainsi utilisés dans les moteurs (aubes de turbines, vannes, ...) destinés à l'aéronautique, les sous-marins, les centrales à gaz terrestres ainsi que dans la fabrication de certaines pièces de fours.

À base de nickel, de cobalt ou de fer, ils ont des compositions complexes et fréquemment tenues confidentielles par leur fabricant. En plus du tungstène, ils contiennent généralement des teneurs importantes en molybdène, en tantale et, plus récemment, en rhénium.

	Cr	Co	Mo	Re	W	Al	Ti	Ta	Nb	Hf	Autres
CMSX4¹	5,7	11,0	0,42	3,0	5,2	5,2	0,74	5,6	-	0,1	-
CMSX10¹	2,0	3,0	0,4	6,0	5,0	5,7	0,2	8,0	0,1	0,03	-
René N5	7,0	8,0	2,0	3,0	5,0	6,2	-	7,0	-	0,2	-
René N6	4,2	12,5	1,4	5,0	6,0	5,75	-	7,2	-	0,15	-
RR3000	2,3	3,3	0,4	6,3	5,5	5,8	0,2	8,4	-	0,03	-
UCSX1	2,3	6,0	1,5	6,3	7,0	5,8	0,2	8,4	-	0,03	2,0 Ru
UCSX8	2,3	6,0	3,0	6,3	6,0	5,8	0,2	8,4	-	0,03	6,0 Ru
TMS75	3,0	12,0	2,0	5,0	6,0	-	-	6,0	-	0,1	-
TMS138	3,0	12,0	3,0	5,0	6,0	-	-	6,0	-	0,1	2,0 Ru
TMS162	2,9	5,8	3,9	4,9	5,8	5,8	-	5,6	-	0,1	6,0 Ru

1) Alliage déposé par Cannon-Muskegon Corporation

Tableau 3 : Compositions de plusieurs références de superalliages monocristallins au nickel (en %)

(source : «Nickel Based Superalloys» H.K.D.H. Bhadeshia, Cambridge University, in Roskill « Rhenium market outlook to 2015 », 2010).

Les alliages lourds et les autres alliages

Les alliages lourds contiennent généralement entre 90 et 98 % W en masse associé à des liants ductiles à Ni-Fe ou à Ni-Cu. Ces alliages à forte densité (17-19 g/cm³), fortes résistance et ductilité, sont utilisés comme contrepoids dans les avions (jusqu'à 850 kg utilisés dans les Boeing 747), dans la protection contre les rayons-X et les radiations, les outils rigides dans les machineries, les flèches, les têtes de clubs de golf ou encore dans les munitions des chars d'assaut. Le tungstène remplace également de plus en plus, pour des raisons environnementales, le plomb utilisé dans les munitions (plombs de chasse, ...).



Figure 6 : Volets et ailerons (flèches) d'avions dont le système de contrepoids est en alliage lourd de tungstène (© www.itia.com).

Des alliages mis en jeu dans des hauts domaines de températures, mais moins extrêmes que ceux des superalliages, peuvent également faire intervenir du tungstène : W-Co, W-Pb, W-Mo ou encore W-Re.

3.1.3. Le tungstène métal

Environ 13 % de la consommation mondiale de tungstène se fait sous forme de tungstène métal.

Industrie de l'éclairage

Le plus grand consommateur de tungstène métallique est l'industrie des ampoules électriques où W entre dans la composition des lampes à incandescence classiques ainsi que des lampes à décharge lumineuse sous haute et basse pression. Environ 4 % de la production annuelle de tungstène est consommée par l'industrie de la lumière électrique (ITIA, 2011).

Le secteur des lampes à incandescence, classiques et halogènes, demeure le principal marché pour le tungstène, où il est utilisé comme filament. Le graphite des premiers filaments a été remplacé par le tungstène en raison de sa capacité à être chauffé à des températures très proches de son point de fusion (3 400 °C) sans s'évaporer rapidement.

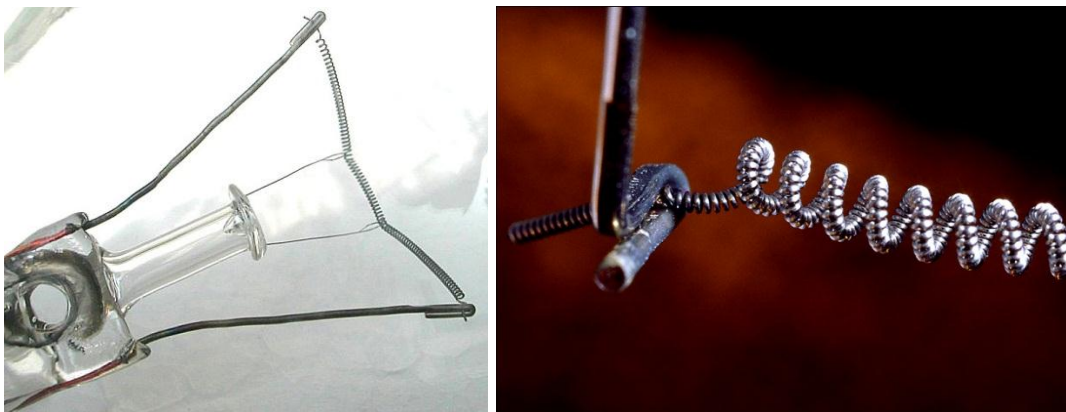


Figure 7 - Filament en tungstène métal d'une ampoule à incandescence.

Le tungstène est aussi utilisé pour les électrodes des lampes à décharge lumineuse basse pression (tubes fluorescents, ampoules fluocompactes) et haute pression (lampes à vapeur de mercure, à vapeur de sodium, à halogénures métalliques). Sous forme de tubes fluorescents et de lampes à vapeur de sodium ou de mercure, elles étaient déjà largement utilisées pour l'éclairage industriel, routier et urbain, ainsi qu'une partie de l'éclairage domestique (tubes « néons »). Sous forme d'ampoules fluocompactes, elles se sont largement répandues dans les années 2000 pour l'éclairage domestique, en particulier dans les pays développés. Malgré un coût plus élevé, ces dernières consomment moins d'énergie à intensité lumineuse égale et ont une plus grande durée de vie que les ampoules à incandescence. Leur diffusion a bénéficié de politiques gouvernementales volontaristes d'économie d'énergie, avec d'abord des incitations et désormais des réglementations qui conduisent, dans de nombreux pays d'Europe et en particulier en France, à retirer progressivement du commerce les ampoules à incandescence classiques. Ces dernières restent cependant

encore largement diffusées en Asie, en Afrique et en Amérique Latine en raison de leur bas prix.

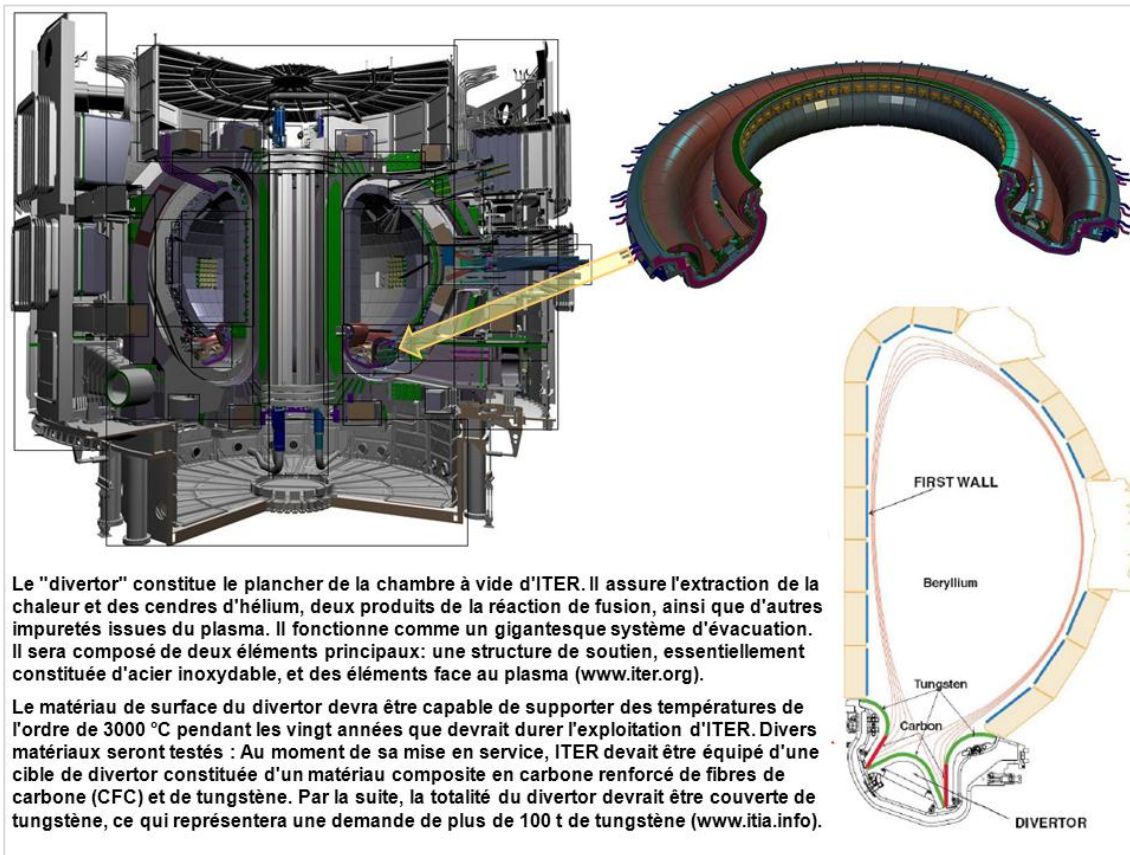
Les contacts électriques et électroniques

Le tungstène métal est également utilisé dans certains contacts électriques et électroniques, qui représentent un plus petit marché que celui des luminaires. Le tungstène supporte en effet facilement les arcs électriques qui se forment lors de l'ouverture et de la fermeture des circuits et est résistant à l'usure et à la corrosion.

En raison de sa résistance à l'attaque de vapeurs de pétrole, le tungstène est utilisé dans les magnétos d'allumage des moteurs à explosion. S'ils ont été remplacés par des systèmes d'allumage électronique dans les voitures modernes, les magnétos sont toujours utilisés pour tester les bougies, faire fonctionner les vieux moteurs agricoles ou ceux des voitures de collection ou encore dans les moteurs à piston des avions.

Fusion thermonucléaire civile

Du tungstène métal sera utilisé pour le revêtement du « divertor » qui constitue le « plancher » du réacteur ITER, en contact direct avec le plasma (cf. fig. 8). Le démarrage devrait se faire avec un « divertor » en composite carbone / fibre de carbone et tungstène, puis il est prévu de généraliser le tungstène en une deuxième phase, ce qui représenterait plus de 100 t de tungstène, à renouveler périodiquement (www.iter.org ; www.itia.info).



Le "divertor" constitue le plancher de la chambre à vide d'ITER. Il assure l'extraction de la chaleur et des cendres d'hélium, deux produits de la réaction de fusion, ainsi que d'autres impuretés issues du plasma. Il fonctionne comme un gigantesque système d'évacuation. Il sera composé de deux éléments principaux: une structure de soutien, essentiellement constituée d'acier inoxydable, et des éléments face au plasma (www.iter.org).

Le matériau de surface du divertor devra être capable de supporter des températures de l'ordre de 3000 °C pendant les vingt années que devrait durer l'exploitation d'ITER. Divers matériaux seront testés : Au moment de sa mise en service, ITER devait être équipé d'une cible de divertor constituée d'un matériau composite en carbone renforcé de fibres de carbone (CFC) et de tungstène. Par la suite, la totalité du divertor devrait être couverte de tungstène, ce qui représentera une demande de plus de 100 t de tungstène (www.itia.info).

Figure 8 - Schéma de la chambre à vide d'ITER et de son « divertor » en formant le plancher, en carbone et tungstène (© www.iter.org).

À moyen terme, du tungstène devrait aussi être utilisé pour le réacteur pilote DEMO qui devrait succéder au réacteur expérimental ITER, et à long terme du tungstène sera vraisemblablement nécessaire en cas d'industrialisation du système.

Autres usages du tungstène métal

Le tungstène est utilisé pour les résistances chauffantes de fours industriels de haute température, comme anode dans les tubes à rayons-X utilisés, par exemple, dans les appareils médicaux (scanners, radiographie, ...) ou encore comme source de rayons-X dans les systèmes de sécurité des aéroports.

Il entre également dans la composition des électrodes pour les soudures aux gaz inertes (TIG pour Tungsten Inert Gaz welding).

Le tungstène métallique est aussi utilisé pour des ressorts de soupape, des suspensions des galvanomètres, ou encore des cibles pour rayons-X.

Des creusets en tungstène sont utilisés pour la production de cristaux de saphirs synthétiques et dans l'industrie des terres rares (www.tungstenmoly.com).

Le tungstène est utilisé comme charge dans des polymères utilisés pour des containers pour le transport des combustibles nucléaires (Monier *et al.*, 2010).

Recherche médicale

Les implants électroniques neurocérébraux peuvent utiliser des microsenseurs en tungstène. Des recherches sont menées pour utiliser de tels implants pour le contrôle de commandes d'ordinateurs et de prothèses électromécaniques par des patients atteints de lésions graves de la moelle épinière (www.itia.info).

3.1.4. Les composés chimiques du tungstène

Divers composés chimiques sont utilisés par l'industrie mais les quantités ainsi consommées sont assez faibles comparées à celles des usages dominants des carbures cémentés, des alliages et du tungstène métallique. Les principaux usages sont récapitulés dans le tableau 4 ci-dessous.

Composé	Formule chimique	Usages
Paratungstate d'ammonium (APT)	$(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Important produit intermédiaire échangé. Aussi utilisé pour des luminophores, des catalyseurs, des gels absorbants et dans la porcelaine
Métatungstate d'ammonium (AMT)	$(\text{NH}_4)_6\text{W}_{12}\text{O}_{39} \cdot 3\text{-}4\text{H}_2\text{O}$	Catalyse, en particulier pour l'hydrocraquage du pétrole
Trioxyle de tungstène	WO_3	Produit intermédiaire pour la production de tungstène métallique et de carbure de tungstène. Aussi utilisé pour des pigments jaunes (peintures) et pour divers catalyseurs (traitement du pétrole brut, dépollution des effluents gazeux d'incinération, etc.).
Oxyde bleu de tungstène	$\sim\text{WO}_{3-x}$	Composition variable, mélange de plusieurs oxydes de tungstène et de "bronzes de tungstène", oxydes mixtes non stoechiométriques de tungstène et d'hydrogène ou d'ammonium. De plus en plus substitué à WO_3 pour la production de tungstène métal.
Acide tungstique	H_2WO_4	Pigments, luminophores, additifs pour huiles
Hexachlorure de tungstène	WCl_6	Utilisé pour dépôts de fils de tungstène sur céramiques, graphite et métaux ; agent de flux en soudure ; catalyse.
Hexafluorure de tungstène	WF_6	Fabrication de semiconducteurs
Tungstate de sodium	Na_2WO_4	Préparation de pigments et teintures organiques et de catalyseurs ; ingifugeage des textiles ; induration de la surface des creusets en graphite ; recherche médicale (propriétés antidiabétiques etc.)
Tungstate de calcium (scheelite)	CaWO_4	Luminophores pour tubes cathodiques, lasers, tubes fluorescents, etc.

Tableau 4 - Les principaux composés chimiques industriels du tungstène et leurs usages (d'après Roskill, 2009)

3.2. CONSOMMATION

3.2.1. Évolution récente de la consommation

La figure 9 illustre l'évolution de la consommation mondiale de tungstène depuis 1989. Après une croissance quasi-continue depuis 1992 (26,87 kt en 1992, 76,1 kt en 2007), celle-ci a chuté à partir de fin 2008 et en 2009 (52,4 kt en 2009). Elle s'est nettement redressée en 2010, à 70,75 kt, puis en 2011, où elle devrait atteindre 75 à 78 kt (statistiques précises non encore disponibles). Bien que les sources (USGS, Roskill) ne le précisent pas toujours, ces chiffres reflètent probablement la consommation de tungstène primaire.

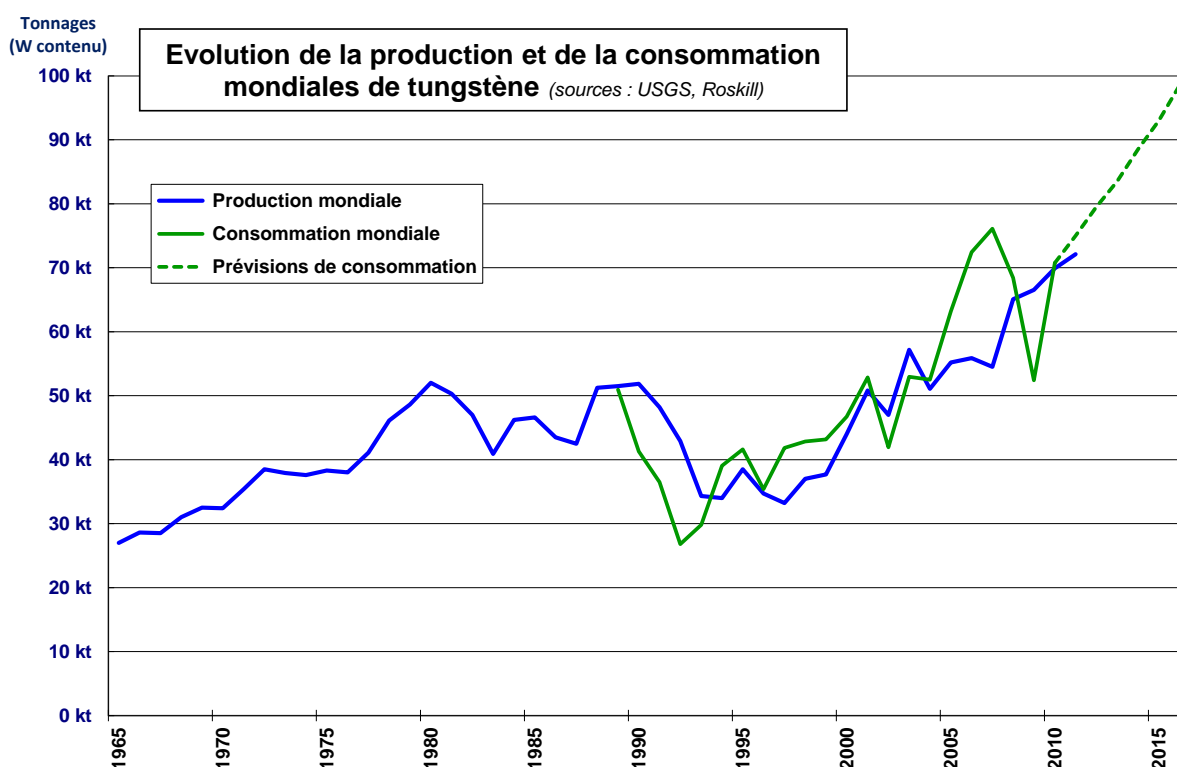


Figure 9 - Évolution de la consommation de tungstène (primaire) depuis 1990 et perspectives d'évolution d'ici 2016 (source : Roskill, 2011), avec évolution de la production depuis 1965 (source : USGS).

La Chine est de loin le plus gros consommateur mondial de tungstène et a compté pour 55 % de la consommation en 2010 (55 à 60 % selon les années), et devrait le rester dans les prochaines années. Ce niveau de consommation reflète non seulement la part de la consommation chinoise de produits finis contenant du tungstène, mais aussi la part des industries chinoises dans la fabrication de produits finis contenant du tungstène et ensuite exportés dans le monde entier (ampoules d'éclairage, par exemple).

La figure 10 illustre la répartition géographique de la demande (2010).

Consommation mondiale de tungstène en 2010, en kt de W contenu

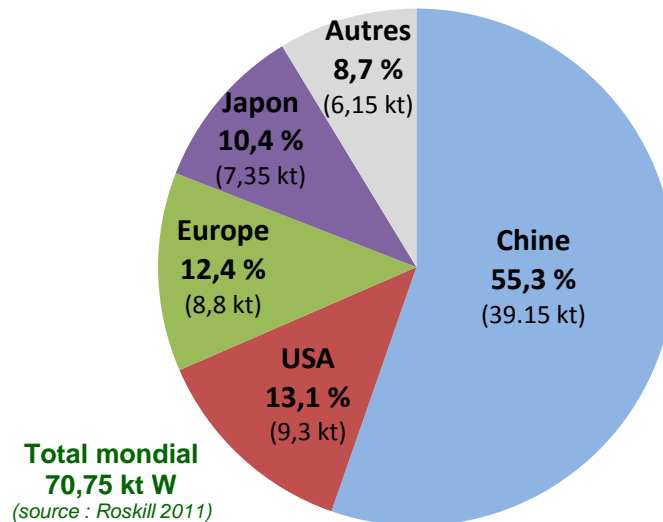


Figure 10 - Répartition géographique de la consommation de tungstène (primaire) en 2010
(source : Roskill, 2011)

Même si ce n'est pas toujours spécifié dans les publications, il semble que les chiffres de consommation fournis concernent la consommation de tungstène primaire, hors recyclage. Par exemple, Roskill (2009) estime le taux d'approvisionnement du marché par le recyclage à 25-30 % à 34 % - reprenant ITIA - selon les sections (cf. 4.5.1). Il estime par ailleurs la production minière (primaire) 2010 à 69,9 kt et la consommation 2010 à 70,75 kt. Il faut donc interpréter que la demande globale en tungstène a été d'au moins 90 kt voire 94 à 95 kt.

Les statistiques publiées et disponibles, en particulier concernant le recyclage, ne sont pas suffisantes pour étayer le bilan de manière suffisamment précise.

3.2.2. Perspectives d'évolution de la demande.

En novembre 2011, Roskill anticipait une croissance de la demande mondiale d'environ 5,7 % par an d'ici 2016, dont 7% pour la Chine. Il prévoyait une croissance de 4 à 5 % par an pour les carbures cimentés et les aciers et alliages, et de 11 à 15 % pour le tungstène métal et les autres usages.

Les développements récents de la crise économique mondiale pourraient cependant infirmer ces prévisions.

3.3. SUBSTITUTIONS

La substitution du tungstène dans les carbures cémentés peut se faire avec des carbures de molybdène, des carbures de titane, des céramiques ou des composites céramiques-métal, ou certains aciers. Certains aciers au tungstène peuvent être remplacés par des aciers au molybdène. Mais de telles substitutions conduisent généralement à des performances moindres et même parfois à des prix supérieurs.

De l'uranium appauvri ou des alliages à l'uranium appauvri peuvent être utilisés en substitution du tungstène dans les applications où une haute densité est recherchée, ou pour les projectiles de percement de blindages.

Dans les filaments de lampes, le basculement progressif dans une partie du monde vers des ampoules basse consommation a eu un impact limité sur la consommation de tungstène, puisque celui-ci reste utilisé pour les filaments des lampes halogènes et pour les électrodes des lampes à décharge et tubes fluorescents.

4. L'offre : ressources et production mondiale

4.1. LES SOURCES DE TUNGSTÈNE

4.1.1. Abondance du tungstène dans l'écorce terrestre

Le tungstène se situe, par ordre d'abondance décroissante, au 57^{ème} rang sur 83 éléments significativement présents dans l'écorce terrestre.

Son abondance moyenne dans la croûte terrestre (« clarke ») est estimée à 1,25 ppm (1,25 g/t), similaire à celle du molybdène. Il est deux fois moins abondant que l'étain (2,3 ppm) et onze fois moins que le plomb (14 ppm) (CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2011).

L'eau de mer contient environ 0,1 µg de tungstène par litre.

4.1.2. Minéraux et minerais

Dans la nature, le tungstène se rencontre presque exclusivement sous forme de tungstates, c'est-à-dire sous forme d'oxyde de tungstène hexavalent associé à des oxydes d'autres éléments. Il en existe une trentaine d'espèces minérales décrites.

Les seuls minerais exploités pour le tungstène sont ceux qui contiennent de la scheelite (tungstate de calcium) ou ceux contenant de la wolframite (tungstate de manganèse et de fer en proportion variable, avec un pôle ferrifère ou ferbérîte et un pôle manganésifère ou hübnérîte). Marginalement, quelques minéraux accessoires associés peuvent aussi être valorisés (tungstite, stolzite, cuprotungstite). Les minéraux à tungstène exploités sont récapitulés dans le tableau 5.

Minéral	Composition	Teneur théorique en tungstène
Wolframite	(Fe,Mn)WO ₄	60.5 à 60.7%
<i>dont : Ferbérîte</i>	<i>FeWO₄</i>	<i>60.5%</i>
<i>Hübnérîte</i>	<i>MnWO₄</i>	<i>60.7%</i>
Scheelite	CaWO ₄	63.9%
Tungstite	H ₂ WO ₄	73.6%
Stolzite	PbWO ₄	40.4%
Cuprotungstite	Cu ₂ WO ₄ (OH) ₂	46.8%

Tableau 5 - Les principaux minéraux de tungstène exploités.

De manière plus exceptionnelle, le tungstène peut se rencontrer sous forme de sulfure (tungsténite, WS_2 , trop rare pour avoir un intérêt économique), de sulfures complexes à tungstène et cuivre +/- étain et germanium (catamarcaïte, kiddcreekite, ovamboïte), qui sont des curiosités minéralogiques. Du tungstène élémentaire naturel (W) et du carbure de tungstène naturel (WC), ou qusongite, ont également été décrits, mais il ne s'agit que de très rares points inframicroscopiques.



Figure 11 - À gauche, wolframite (noir à éclat submétallique) et quartz (blanc), Leucamp (Cantal, France). À droite : cristal de scheelite (photo de Cayeux).

4.1.3. Principaux types de gisements

Les gisements de tungstène sont pratiquement toujours liés à des intrusions de roches granitoïdes. Les types principaux sont :

- les filons et stockwerks de quartz à wolframite, associés à des leucogranites très évolués, et associés spatialement à la cassitérite, et
- les skarns à scheelite, formés par métamorphisme de contact d'un granite dans un encaissant calcaire.

On trouve aussi des concentrations de tungstène :

- dans certains porphyres à molybdène ;
- dans des gîtes de type stratiforme à scheelite (métamorphisme régional) ;
- dans des gîtes détritiques proches issus des divers types précédents ;
- très exceptionnellement dans le lac salé de Searles Lake, en Californie.

Les filons de quartz à wolframite

Les filons de quartz à wolframite sont des filons hydrothermaux de haute température (hypothermaux) issus des termes extrêmes de l'évolution des magmas granitiques. Ces filons sont rarement isolés et forment le plus souvent des champs filoniens en faisceaux de filons parallèles, subverticaux et parfois horizontaux (Panasqueira, Portugal), dans des fractures de tension sans rejet autour d'une coupole de leucogranite évolué, dans le granite lui-même ou dans son encaissant.

Le tungstène peut y être accompagné d'autres métaux, en particulier Sn, mais aussi Mo, Bi, As, Be, etc.

Les filons sont généralement de puissance métrique mais peuvent aussi se disperser en nombreux filonnets centimétriques entrecroisés (stockwerk) exploitables en masse.

Les bordures de coupoles sont parfois greisenisées, ayant subi une transformation pneumatolytique donnant un "greisen", un assemblage grenu à quartz-micas plus ou moins lithinifères (lépidolite), qui peut aussi contenir de la wolframite disséminée, mais aussi de la cassitérite (SnO_2) et parfois de la scheelite. Ces greisens peuvent aussi être recoupés par les stockwerks à quartz-wolframite

Les champs filoniens peuvent s'étendre sur plusieurs dizaines, voire centaine de kilomètres carrés, et les tonnages de tout venant peuvent aller de quelques centaines de milliers à plusieurs dizaines de millions de tonnes. La teneur des filons eux-mêmes peut atteindre plusieurs % WO_3 , mais la teneur du minerai dépend de la sélectivité de l'exploitation. Elle est fréquemment inférieure à 0,5 % et atteint rarement 1 % WO_3 .

Parmi les grands gisements ou districts mondiaux de ce type, on peut citer la Chine du Sud-Est (Jiangxi, Hunan, cf. Tab.7) avec plusieurs champs dépassant 100 kt WO_3 , la chaîne hercynienne ouest-européenne, incluant le centre-nord du Portugal (Panasqueira), la Cornouaille (Hemerdon) mais aussi le Massif Central et le Massif Armoricain français, etc. Ce sont des gisements de ce type, de dimensions modestes, qui ont été exploités en France dans le courant du XX^{ème} siècle (Montredon-Labessonnié, Échassières, Leucamp, Enguialès, Puy-les-Vignes, cf. 4.2.2).

Les skarns à scheelite

Les skarns sont formés par métamorphisme de contact entre un granite et un encaissant carbonaté (calcaire ou dolomitique). L'encaissant subit une métagénèse (apports d'éléments par les fluides issus du granite) et une recristallisation. Les skarns peuvent être ainsi enrichis en divers éléments métalliques, et en particulier en tungstène dans le cas des skarns à scheelite.

Parmi les grands gisements mondiaux, on peut citer King Island (Australie), Mactung (Canada), Sangdong (Corée du Sud), Tyrnyauz (Russie). C'est ce type de gisement qui a été exploité en France pour le tungstène à Salau, en Ariège, entre 1971 et 1986.

Les porphyres à molybdène

Les gisements de type « porphyre » sont constitués de stockwerks développés à l'apex de certains intrusifs granitiques ou granodioritiques. Ce sont généralement des gisements de cuivre (la majorité des plus grands gisements de cuivre du monde) avec plus ou moins de molybdène ou d'or associé. Quelques-uns de ces porphyres sont à molybdène dominant, et ils contiennent alors souvent du tungstène à faible teneur, sous forme de hübnérite, et qui a alors pu être exploité comme sous-produit du molybdène, comme à Climax⁶ (Colorado, USA) et à Mount Pleasant (New Brunswick, Canada).

Les pegmatites

Certaines pegmatites granitiques peuvent contenir un peu de tungstène sous forme de scheelite et parfois de wolframite, en particulier les pegmatites LCT à lithium et tantale, mais le tungstène, lorsqu'il est valorisé, l'a généralement été comme sous-produit du tantale (Wodgina, en Australie). Il n'a été le produit principal que dans la mine de scheelite d'Okbang, en Corée du Sud, et ce type de gisement ne contribue que marginalement à la production mondiale de tungstène.

Les gîtes stratiformes à scheelite

Il peut exister dans certains niveaux sédimentaires (schistes noirs, certains niveaux détritiques) des préconcentrations en tungstène mais à des teneurs non-économiques. Localement il peut en exister des reconcentrations, par métamorphisme régional, comme à Mittersill, en Autriche, où de la scheelite est disséminée dans des quartzites et gneiss à silicates calciques, ou par des remobilisations liées à la tectonique (petit gisement de La Favière, dans le Var, en France, par exemple).

Les gîtes détritiques

« La wolframite et plus rarement la scheelite sont parfois récupérées dans les éluvions. Ces minéraux sont fragiles et chimiquement altérables, ils ne peuvent subir un long transport et se conservent mal dans les alluvions. Les placers sont donc toujours proches des gisements et de faible étendue » (Béziat et Coulomb, 1990).

Les saumures de lacs salés

Le lac salé de Searles Lake, en Californie, exploité pour le bore et des carbonates et sulfates de sodium, est très particulier du fait qu'il draine une région riche en gisements de tungstène. Les masses de sel sodiques s'étendent sur 90 km², et les saumures associées titrent 70 ppm (0,007 %) de WO₃, ce qui représenterait un tonnage total de

⁶ La mine de molybdène de Climax a cessé d'être exploitée en 1995 et est en cours de redémarrage en mai 2012 par la société Climax Molybdenum (www.climaxmolybdenum.com), filiale de Freeport McMoRan. Cette société n'annonce cependant plus de production de tungstène, seulement de molybdène et de rhénium.

60 à 85 kt de WO₃ (Béziat et Coulomb, 1990 ; Roskill, 2011). Mais le tungstène n'y est pas exploité.

4.2. RESSOURCES ET RÉSERVES

4.2.1. Évaluation globale des ressources et réserves en tungstène

L'USGS évalue les réserves mondiales de tungstène à 3,08 Mt de W contenu (janvier 2012), et évaluait en janvier 2009 les « reserve base » (la part des ressources les plus susceptibles de devenir des réserves) à 6,27 Mt, selon les répartitions suivantes (Tab. 6 et Fig.12).

Pays	Réserves (USGS, 2012)	Reserve base (USGS, 2009)
Chine	1 900 kt	4 200 kt
Russie	250 kt	420 kt
USA	140 kt	200 kt
Canada	120 kt	490 kt
Bolivie	53 kt	100 kt
Autriche	10 kt	15 kt
Portugal	4 kt	62 kt
Autres	600 kt	780 kt
TOTAL	3 077 kt	6 267 kt

Tableau 6 - Récapitulatif des réserves identifiées en tungstène par pays, en kt de W contenu, selon USGS (Shedd, 2009 & 2012)

Répartition des réserves en tungstène par pays, en W contenu (USGS, janv.2012)

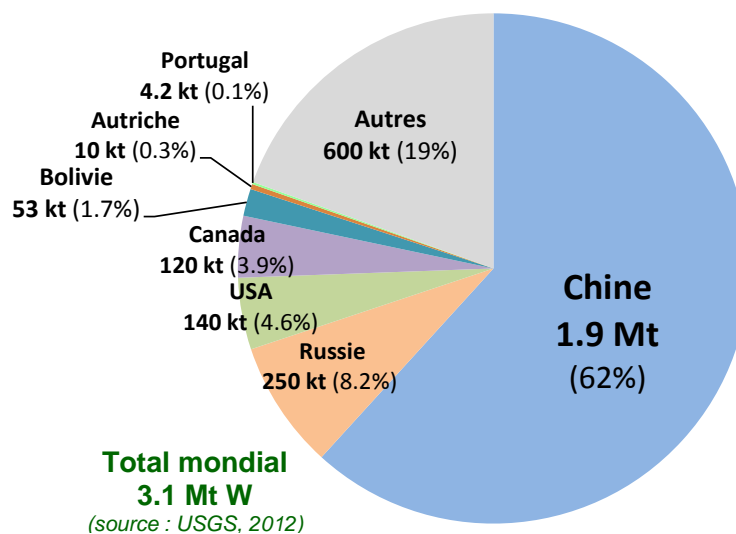


Figure 12 - Répartition des réserves mondiales en tungstène par pays (d'après USGS, 2012)

Les réserves connues correspondraient à 43 années d'exploitation au rythme de 2011 (72,1 kt W extraites), et les « reserve base » à 87 ans. Mais les ressources globales en tungstène ne sont que partiellement renseignées.

D'après l'USGS, plus de 60 % des réserves identifiées en tungstène seraient situées en Chine. Or ce pays et les sociétés chinoises qui en exploitent les gisements ne publient pas les états des ressources et réserves selon les normes de type JORC (australiennes) ou NI43-101 (canadiennes).

D'après Roskill (2011), se référant à l'Information Centre of the Ministry of Land and Resource of the P.R. of China, les réserves chinoises seraient de 1,1 Mt W, les « reserve base » de 2,3 Mt W, et les ressources totales de 4,5 Mt. Les « reserve base » selon l'USGS sont donc comparables, en ordre de grandeur, aux « ressources » selon Roskill, tandis que les « réserves » selon l'USGS sont intermédiaires entre les « réserves » et les « reserve base » selon Roskill.

55 % des ressources et 68 % des réserves de tungstène chinoises sont situées dans les provinces contigües du Hunan et du Jiangxi, dans le sud-est de la Chine. Le reste des ressources est réparti dans une dizaine de provinces (Fig.13).

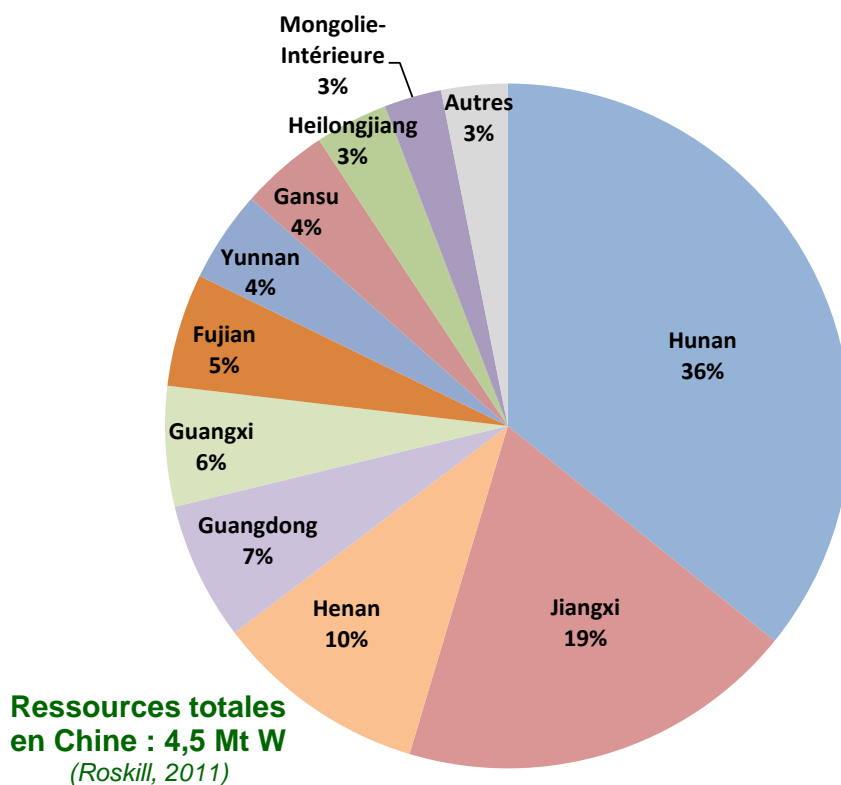


Figure 13 - Répartition par province des ressources chinoises en tungstène (adapté d'après Roskill, 2011)

4.2.2. Les gisements de tungstène dans le monde

La figure 14 montre la répartition mondiale des gisements de tungstène identifiés, par type. Il y a une association marquée des gisements avec les chaînes hercynienne et alpino-himalayenne et la ceinture circumpacifique.

Le tableau 7 récapitule les principaux gisements de tungstène en exploitation dans le monde, le tableau 8 récapitule les gisements qui ont été fermés mais dont la réouverture est envisagée à court terme, et les principaux nouveaux projets d'exploitation minière en étude ou développement avancés.

En dehors de la Chine et peut-être de la Russie, où nous ne disposons pas des informations sur le niveau des ressources détaillées par gisement, seuls deux gisements sont annoncés avec plus de 200 kt de tungstène contenu, tous deux situés au Yukon, au Canada (Mactung et Northern Dancer), et quelques autres sont annoncés avec plus de 100 kt. Mais la plupart des exploitations et gisements ne contiennent que quelques dizaines de kt de tungstène, voire moins de 10 kt.

En plus de ces gisements en exploitation ou en cours d'étude avancée, il existe de nombreux indices et gîtes de tungstène dans le monde, pour beaucoup de taille modeste, comme en particulier les gisements français (cf. 4.2.3).

Les possibilités de nouvelles découvertes ou de nouvelles évaluations et développement de gîtes déjà connus sont encore importantes, par exemple en Asie Centrale (Kazakhstan, Tadjikistan, Ouzbékistan, Kirghizstan, Afghanistan), ou dans des provinces moins « classiques » comme le bouclier arabo-nubien (indices connus en Arabie Saoudite, comme Bir Tawilah, ou au Soudan, comme Jebel Eyob).

La base de données de l'USGS répertorie 6 966 gisements et indices de tungstène aux États-Unis seulement (pays où cette base est la plus détaillée), et 1 188 autres gisements et indices de tungstène dans le reste du monde.

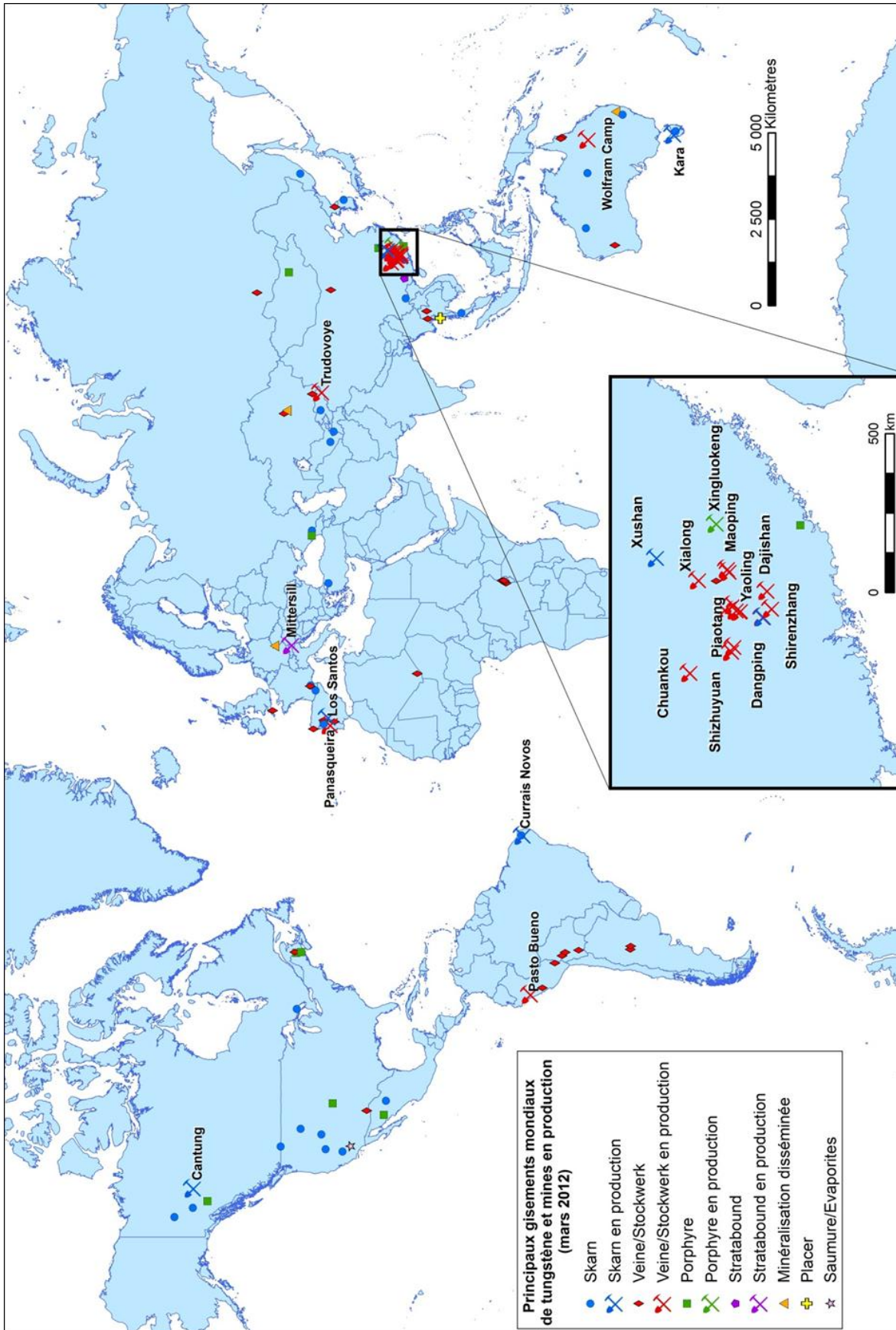


Figure 14 - Localisation des principaux gisements mondiaux de tungstène et des mines en production (mars 2012) (BRGM, 2012 ; BGS, 2011 ; USGS-MRDS, 2012 ; RMD, 2012).

Pays	Province / Région	Gisement	Société	Bourse	Site web	Type	Minéral	Ressources teneur WO ₃	W contenu	Date démarrage	Capacité annuelle Minéral	Production 2010	2011	2010	2011	Produit	Remarques	
MINES EN PRODUCTION																		
Australie	Qld	Wolfram Camp	Deutsche Rohstoff		www.rohstoff.de	Veines / stockworks	1.4 Mt	0.60%	6.8 kt	03/2012	1 200 t		0 t	0 t				
	Tasm	Kara	Tasmania Mines / Itochu	ASX: TMM	www.tasmines.com.au	Skarn	18.6 Mt	0.05%	7.4 kt	1996		284.5 kt	11 t	11 t			Mine de magnétite avec un peu de scheelite en sous-produit	
Autriche	Saizburg	Mittersill	WBH / Sandvik		www.wolfram.at	Stratiforme				1995			975 t				Exploité de 1979 à 1993 puis réouvert en 1995	
		Divers	Mines petites et artisanales										90 t					
Bolivie	Dept. de La Paz	Divers	Peitres mines et coopératives			Veines / stockworks							1 190 t					
	Rio Grande do Norte	Breju / Currais Novos	Mineração Tomaz Salustino			Skarn												
Brésil		Currais Novos	Mineração Boca de Lage			Skarn												
		Baixa Verde / Currais Novos	Mineração Barra Verde			Skarn												
Canada	Rondonia	Boca de Lage & Barra Verde / Currais Novos	Largo Resources	TSX-V: LGO	www.largoresources.com	Tailings	4.3 Mt	0.11%	3.9 kt	12/2011	180 t -> 330 t		0 t	0 t	£		Démarrage de la production commerciale annoncé en décembre 2011. 180 t prévu en 2012 puis 330 t/an. Metallurgie encore produit 49 t W en 2009 (Roskill, 2011) mais ne publie plus d'information à ce sujet	
	NWT	Divers placers	Metalmig		www.metalmig.com.br	Placers					50 t							
Chine		Cantung	North American Tungsten	TSX: NTC	www.natungsten.com	Skarn	2.6 Mt	1.07%	22.2 kt			2 000 t	78.9 kt	420 t	1 966 t		Redémarré en oct. 2010 après interruption en oct. 2009	
	Guangdong	Shirenzheng	Guangdong Rising Nonferrous Metals Group		www.gdnni.com.cn	Veines / stockworks	87.7 Mt		295.0 kt	1989	710 kt							
Hunan		Yaoling	Nonferrous Metals Group			Skarn	47.2 Mt			1987	270 kt							
		Chuankou	Hengyang TI			Veines / stockworks	222.1 Mt			1988	400 kt							
Jiangxi		Shizhuyuan	Hunan Nonferrous Metals Holding Group		www.hnng.com.cn	Veines / stockworks	360.0 Mt		1 616.0 kt	1988	820 kt							
		Yaogangxian				Veines / stockworks	210.0 Mt			1995	710 kt							
Jiangxi		Dajishan				Veines / stockworks	54.2 Mt			1998	650 kt							
		Dangping				Veines / stockworks	21.2 Mt			1998	510 kt							
		Pangushan				Veines / stockworks	26.3 Mt			1994	560 kt							
		Piaotang	Jiangxi Tungsten Industry Group (JV China Mimetals			Veines / stockworks	73.4 Mt			1980	750 kt							
		Tieshanlong	52% - SASAC of Jiangxi (49%)		www.jwys.com.cn	Veines / stockworks	64.1 Mt			1963	610 kt				60 000 t			
		Xialong				Veines / stockworks	15.8 Mt			1961	510 kt							
		Xiaolong				Veines / stockworks	38.5 Mt		850.0 kt	1994	300 kt							
		Xihuashan				Veines / stockworks	34.1 Mt			1960	830 kt							
		Quannan	Dayu Weiliang Tungsten Co. Ltd			Veines / stockworks												
		Gushan / Dawu				Veines / stockworks												
Kuiweishan	Hukeng					Veines / stockworks	43.6 Mt			1954	390 kt							
						Veines / stockworks	31.4 Mt			1965	330 kt							
Xushan		SASAC* of Jiangxi Province			Skarn	22.7 Mt			1958	360 kt								

Tableau 7 - Les principaux gisements de tungstène en exploitation.

Pays	Province / Région	Gisement	Société	Bourse	Site web	Type	Ressources		Date démarrage	Capacité annuelle			Produit	Remarques	
							Minéral	teneur WO ₃		Minéral	W	2010			2011
MINES EN PRODUCTION (suite)															
Chine (suite)	Meiping		Jiangxi Yaosheng Industry and Trade Development Co.		http://en.wjz.cn/	Veines / stockworks	51.2 Mt		1980	350 kt					
	Taoxiheng		Chongyi Zhaiguan Tungsten Co.		www.zxtungsten.com	Veines / stockworks	63.5 Mt		1980	340 kt					
	Xianglushan		Jiangxi Xianglushan Tungsten Co.(China)		www.xianglushan.com	Porphyry	40.3 Mt		1994	500 kt					
	???	???	???	Xiamen Tungsten Co Ltd	SSE:XTC	www.xtc.com	???				12 000 t				
Congo DR	Maniema, N.S.S.Kivu	Divers	Mines artisanales			Veines / stockworks						360 t		Exploitations théoriquement interdites en 2010 ("minéraux de conflit"). Réautorisée par les autorités congolaises en mai 2012.	
Corée du N.		Harmen & Kensu										109 t		Production non publiée. Estimation d'après les ventes de concentrés à la Chine.	
Espagne	Salamanca	Los Santos	Almomy Industries	TSX-V: AII	http://almomy.com	Skarn	3.1 Mt	0.33%	2008	460 kt	520 t	462.6 kt	230 t	517 t	Acquisition par Almonty finalisée le 23 septembre 2011.
Kirghizstan		Trudovoye	Saryjaz Mineral & Mining Co (SM/MC)			Veines / stockworks	5.8 Mt		2007	200 kt					Mine d'étain avec tungstène en sous-produit.
Mongolie													185 t		
Pérou	Ancash	Pasto Bueno	Malaiga	TSX:MLG	www.malaiga.ca	Veines / stockworks	2.2 Mt	0.71%	1910		580 t		571 t	439 t	25 kt W contenu extraits entre 1910 et 1990. Redémarrage par Malaiga en 2007.
Portugal		Panasqueira	Sojitz Corp		www.soltz.com	Veines / stockworks	6.3 Mt		1898 / 1947		1 980 t		800 t		Production de concentrés de wolframite à 70 % et à 75 % WO ₃ .
Russie	Primorsky Kraï	Primorsky	JV JSC Primorsky GOK & JSC A&R Mining		www.a&r.ru								1 848 t		
	Primorsky Kraï	Lermonovskiy	KGUP Primateploenergo										157 t	397 t	
	Zabaykalsky Kraï	Spokoininskoye / Novo-Orovskiy	RGRK										317 t		
	Zabaykalsky Kraï	Kvarz	Artel Quartz Ltd										246 t		
	Buryatia Rep.	Zakamensk	CJSC Buryat Wolfram												
	Altay Rep.	Kalgutinsky	OOO Sibinvest												
Rwanda		petites mines et artisanat											333 t		Production 2010 estimée d'après les exportations de concentrés (645 t en 2010, estimé à 65% WO ₃).
Thaïlande		Divers	Petites mines										270 t		Production privée redémarrée en 2008, production non divulguée.
USA	Californie	Andrew	Curtis Tungsten	privé											
Vietnam	Tuyen Quang	Thienke									770 t				
	Lam Dong	Philieng									620 t				

Tableau 7 (suite) : Les principaux gisements de tungstène en exploitation.

Pays	Province / Région	Gisement	Société	Bourse	Site web	Type	Ressources		Date démarrage	Capacité annuelle Production mineral				Produit	Remarques
							Mineral	teneur WO ₃ contenu		Mineral	W	2010	2011		
MINES SUSPENDUES															
Australie	Tasim	King Island	King Island Scheelite Ltd	ASX: KIS	www.kingislandscheelite.com.au	Skarn	10.6 Mt	0.9%	2013	300 kt	2 855 t			Exploité par intermittence entre 1917 et 1990. Faisabilité pour redémarrage publiée en fév/2012	
	Qld	Mount Carbine	Carbine tungsten	ASX: CNQ	www.carbinetungsten.com.au	Veines / stockworks	53.0 Mt	0.12%	2012		600 à 1 200 t			Exploité de 1973 à 1987. Tailings 2Mt @ 0.1% Stockpiles 12Mt @ 0.75% H&D rock. 39Mt @ 0.14%	
Canada	BC	Jersey Emerald	Sultan Minerals	TSX-V: SUL	www.sultanminerals.com	Skarn	3.7 Mt	0.38%	?		~800 t			Exploité entre 1942 et 1973. 1.2 kt W extraites	
	New Brunswick	Mount Pleasant	Adex Mining	TSX-V: ADE	www.adexmining.com	Porphyry	13.5 Mt	0.33%	2015		1 340 t		APT	Exploité entre 1989 et 1985 (1.1 kt de W produit). Adex prévoit une réouverture de la zone "Fire tower" pour W. Mt. plus de la "Zone nord" pour Zn-Pb-Sn.	
Corée du S.		Sangdong	Wouffe Mining	TSX-V: WDF	www.wouffemining.com	Skarn	36.1 Mt	0.44%	2014		1 200 kt		APT	Fermé en 1992. Faisabilité en cours (2012).	
Espagne	Salamanca	Barraucopardo	Ormonde Mining plc	AIM & IEM	www.ormondemining.com	Veines / stockworks	27.4 Mt	0.26%	2013		1 100 kt			Fermé en 1982. Nouvelle faisabilité en février 2012	
Ouzbékistan	Samarkand	Ingichki	JV Integra Mining - Navoi			Tailings / Skarn	15.0 Mt							Exploité entre 1956 et la fin des années 1990s. Projet d'exploitation des 15 Mt de tailings	
Royaume-Uni	Devon	Hemerdon	Wolf Minerals	ASX: WLF / AIM: WIFE	www.wolfminerals.com.au	Veines / stockworks	0.4 Mt	13.0%	2014		2 750 t			Exploité entre 1919 et 1944 avec ~16 kt de mineral extraites. Faisabilité en 1981, puis en mai 2011 par Wolf Minerals.	
PROJETS MINIERES EN COURS D'ETUDE ECONOMIQUE (Faisabilité / Préfaisabilité / Conceptuel)															
Algérie	Tamanrasset	Laouini / Nahda				Veines / stockworks	1.4 Mt	1.48%			16.1 kt				
Australie	NSW	Attunga	Peel Mining	ASX: PEX	www.peel.com.au	Skarn	1.3 Mt	0.61%			6.2 kt			Phase conceptuelle	
	NT	Molyhil	Thor Mining plc	ASX: THR	www.thormining.com	Skarn	4.71 Mt	0.28%	2012		10.5 kt			Faisabilité. Contrat d'option avec CIMC Australie, filiale du groupe chinois CIMC	
	WA	Big Hill	Hazelwood Resources	ASX: HAZ	www.hazelwood.com.au		47.43 Mt							Phase conceptuelle	
	WA	Mount Mulgine	Hazelwood Resources	ASX: HAZ	www.hazelwood.com.au	Veines / stockworks	8.2 Mt		>2014						
	Qld	Watershed	Vital Metals	ASX: VML	www.vitalmetals.com.au	Veines / stockworks	15.3 Mt	0.46%		>2014	1 000 t			Pré-faisabilité	
Canada	Yukon	Macling	North American Tungsten	TSX: NTC	www.natungsten.com	Skarn	35.0 Mt	0.88%			230.3 kt				
	Yukon	Northern Dancer	Largo Resources	TSX-V: LGO	www.largoresources.com	Porphyry	323.4 Mt	0.11%			271.0 kt			Pré-faisabilité	
	Yukon	Risby	Playfair Mining	TSX-V: PLY	www.playfairmining.com	Skarn	8.5 Mt	0.48%			32.2 kt				
	New Brunswick	Sisson	Northcliff (Geodex)	TSX: NCF	www.northcliffresources.com	Porphyry	17.4 Mt	0.09%			132.3 kt			Faisabilité en cours, résultats attendus fin 2012	
	Newfoundland	Grey River	Playfair Mining	TSX-V: PLY	www.playfairmining.com	Veines / stockworks	0.9 Mt	0.86%			5.8 kt				
Kirghizstan		Kensu	Sarjaz Mineral & Mining Co (SMMC)			Skarn									
Mexique	Sonora	Los Verdes	Virgin Metals	TSX: VGM	www.virginmetals.com	Porphyry	7.3 Mt	0.08%			4.6 kt			Ressources à 0.67% Cu, 0.13% Mo, 0.08% SW et 4.85 g/L Ag. Pré-faisabilité en cours en 2012	
Mongolie		Undur-Tsagaan	CGX			Porphyry	141.0 Mt	0.12%			138.7 kt				
Portugal		Tabuaco	Coit Resources	TSX-V: GTP	www.coitresources.com	Skarn	2.1 Mt	0.57%			9.5 kt				
Russie		Kfi-Teberda				Porphyry									
Thaïlande	Mae Hong Son	Mae Lama	Amanta Resources	TSX-V: AMH	http://amantarresources.com	Veines / stockworks					1 250 t			En sommeil	
USA	Nevada	Indian Springs	Galway Resources	TSX-V: GWY	www.galwayresources.com	Skarn	4.5 Mt	0.26%			9.2 kt				
	New-Mexico	Victorio	Galway Resources	TSX-V: GWY	www.galwayresources.com	Veines / stockworks	77.2 Mt	0.09%			2 250 t				
Vietnam	Misan Resources	Nui Phao			www.misanresources.com	Veines / stockworks	87.9 Mt	0.19%	2013		132.5 kt				

Tableau 8 - Principaux projets de redémarrage d'anciennes mines de tungstène et nouveaux projets en étude ou développement avancé.

4.2.3. Les gisements et ressources de tungstène en France

La France métropolitaine dispose de nombreux indices et quelques gisements de tungstène, dont 13 ont été exploités à des degrés divers au cours du XX^{ème} siècle.

Il s'agit surtout de champs de veines à quartz-wolframite associés aux granites hercyniens dans le Massif Central (Montredon-Labessonnié, Leucamp, Engualès, Puy-les-Vignes, Échassières) et le Massif Armoricaïn (Montbelleux), ainsi que de skarns à scheelite, dans les Pyrénées (Salau) ou gisements stratoïdes dans l'Esterel (La Favière).

Le tableau 9 récapitule les 13 gisements exploités, avec leurs périodes d'exploitation, leur production cumulée et une estimation de leurs ressources résiduelles, ainsi que les 6 autres gisements qui avaient fait l'objet d'une évaluation des ressources.

Gisement	Département	Type	Production passée (t WO ₃)	Ressources résiduelles (t WO ₃)	Période(s) d'exploitation
ANCIENNES EXPLOITATIONS MINIERES DE TUNGSTENE					
1 Salau (Anglade)	09	Skarn à scheelite	12 415 t	3 400 t	1971-1986
2 Puy les Vignes	87	Veines de quartz-wolframite	3 970 t	1 158 t	1884-1885 ; 1905-1920 1938-1957
3 Echassières (La Bosse)	03	Veines de quartz-wolframite	3 900 t	5 000 t	1915-1919 ; 1936-1939 1945-1962
4 Leucamp	15	Veines de quartz-wolframite	1 700 t	7 000 t	1910-1925 ; 1943-1959
5 Engualès	12	Veines de quartz-wolframite	1 300 t	5 000 t	1969-1979
6 La Favière	83	Stratoïde à scheelite	849 t	1 800 t	1981-1985
7 Montredon-Labessonnié	81	Veines de quartz-wolframite	864 t	10 500 t	1958-1962
8 Mandelasse	87	Veines de quartz-wolframite	201 t		-
9 Mazet	03	Veines de quartz-wolframite	201 t		-
10 Montbelleux-Luitré	35	Veines de quartz-wolframite	189 t	6 400 t	1905-1918 ; 1942-1944 1954-1956 ; 1982-1983
11 Murols	12	Veines de quartz-wolframite	120 t		1949-1954
12 Lagarde	87	Veines de quartz-wolframite	59 t		1911-1928
13 Périssac	16	Veines de quartz-wolframite	3 t	520 t	-
GISEMENTS NON EXPLOITES					
1 Fumade	81	Skarn à scheelite		14 300 t	Travaux de 1981 à 1985
2 Coat-an-Noz	22	Skarn à scheelite		11 000 t	
3 Auxelles-Haut	90	Skarn à scheelite		8 500 t	
4 Costabonne	66	Skarn à scheelite		5 044 t	Travaux de 1954 à 1959
5 Neuf-Jours	19	Veines de quartz-wolframite		2 500 t	
6 Pinardeau-Pierre Bergère	16	Veines de quartz-wolframite		1 000 t	
TOTAL GENERAL			25 771 t	83 122 t	

Tableau 9 - Les principaux gisements de tungstène en France métropolitaine.
(sources : BRGM (www.sigminesfrance.brgm.fr); Béziat & Coulomb, 1990).

On voit que les ressources résiduelles connues représentent encore 3 fois la production historique. Tous ces gisements font l'objet d'une description détaillée dans l'ouvrage du BRGM « Les gisements de tungstène en France, situation en 1990 ».

La base de données sur les gisements et indices français du BRGM « Sig Mines France (www.sigminesfrance.fr) » liste, en plus des 19 gisements repris dans le tableau 9, près d'une centaine d'autres indices minéralisés en wolframite ou en scheelite qui n'ont pas fait l'objet d'évaluation.

La figure 15 montre la localisation des principaux gisements exploités au XX^{ème} siècle, et la figure 16 montre la répartition des divers gisements et indices de tungstène en France métropolitaine.

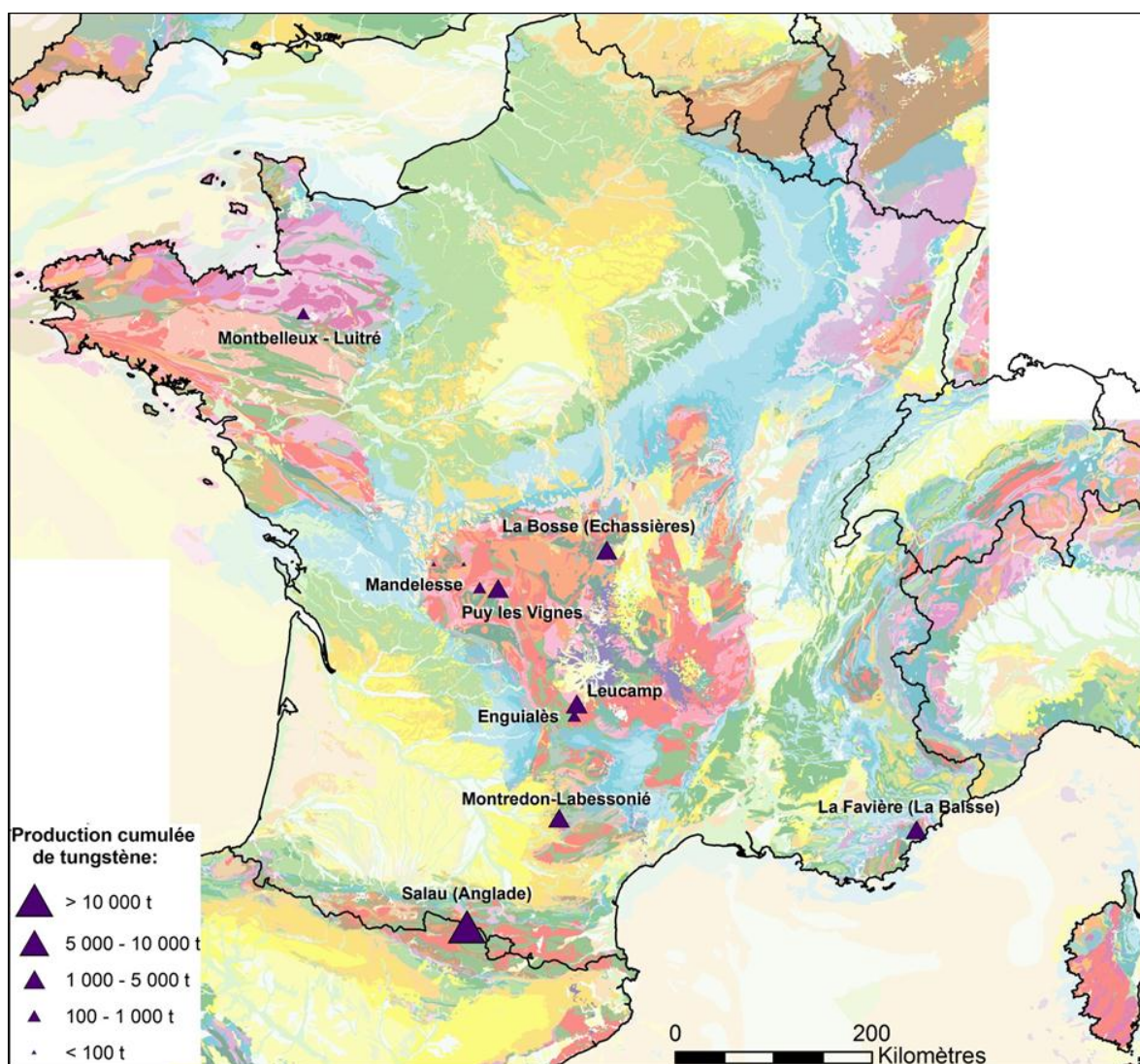


Figure 15 - Les anciennes exploitations minières de tungstène en France métropolitaine (source : BRGM).

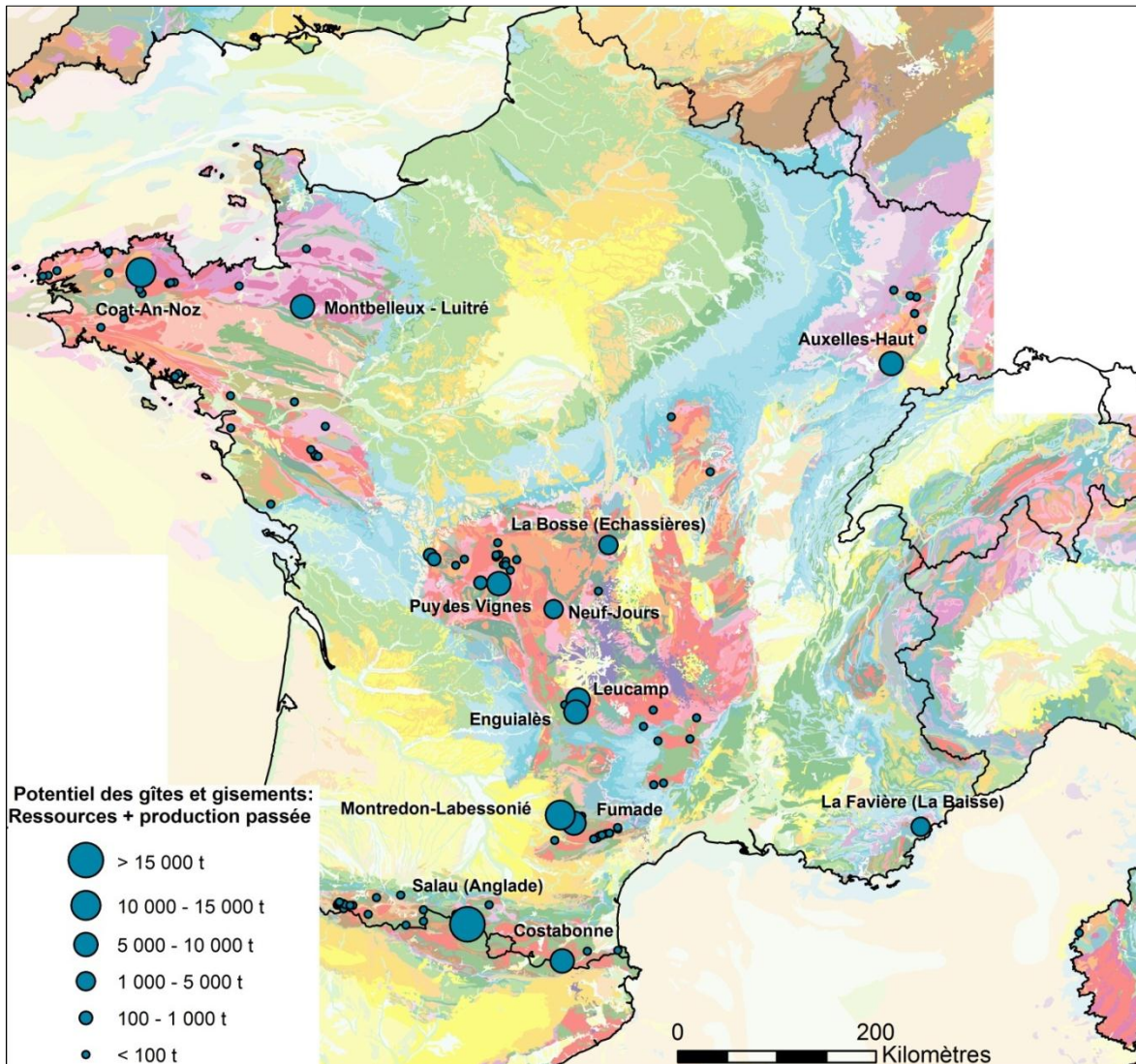


Figure 16 - Potentiel des gisements à tungstène en France métropolitaine (BRGM).

Des ressources en terre atteignant ou dépassant 10 000 t de WO_3 comme à Montredon-Labessonnié (81), Fumade (81) et Coat-an-Noz (22) sont d'un ordre de grandeur comparable à certains gisements en cours de développement à travers le monde. De plus, pour beaucoup de gisements, les évaluations des ressources et réserves déjà réalisées ne sont pas toujours exhaustives, et des travaux de recherche pourraient conduire à l'identification de ressources complémentaires.

Le potentiel géologique de la France en tungstène est donc réel.

4.3. PRODUCTION

4.3.1. Statistiques de production courante

La production mondiale de tungstène primaire se serait montée à près de 72 100 t de tungstène contenu en 2011 (USGS, Janv.2012), vs 69 890 t en 2010 (Roskill, 2011).

Toutefois, les chiffres peuvent être assez divergents selon les sources d'information. La Chine produit, selon les années, de 75 % à 85 % du tungstène mondial. Mais le niveau de la production chinoise est difficile à préciser et à certifier. Le tableau 10 présente la production minière chinoise annuelle depuis 2005, selon 6 sources différentes : l'International Tungsten Industry Association (ITIA) et la China Tungsten Industry Association (CTIA) (chiffres rapportés par Roskill, 2011), l'agence chinoise Antaïke (www.antaïke.com), le site de Research in China (www.researchinchina.com) qui se réfère au Bureau National de Statistiques de Chine (www.stats.gov.cn) et l'USGS, avec pour ce dernier organisme les chiffres de production publiés dans le « Mineral commodity summary » de l'année qui suit (a+1) et tels que corrigés l'année suivante (a+2).

Production minière de tungstène par la Chine selon les sources

source année	ITIA in Roskill 2011	CTIA in Roskill 2011	Antaïke Nov. 2010	Research in China, 2010	USGS mcs a+1*	USGS mcs a+2*	Moyenne	Ecart-type	
2005	47.0 kt	52.0 kt	47.0 kt	58.7 kt	69.0 kt	61.0 kt	55.8 kt	7.9 kt	(14%)
2006	44.0 kt	41.2 kt	41.0 kt	41.2 kt	62.0 kt	79.0 kt	51.4 kt	14.4 kt	(28%)
2007	41.0 kt	41.3 kt	41.0 kt	41.4 kt	77.0 kt	41.0 kt	47.1 kt	13.4 kt	(28%)
2008	51.5 kt	58.8 kt	44.0 kt	43.6 kt	41.0 kt	43.5 kt	47.1 kt	6.2 kt	(13%)
2009	55.5 kt	51.1 kt	51.0 kt	54.0 kt	47.0 kt	51.0 kt	51.6 kt	2.7 kt	(5%)
2010	67.0 kt	59.3 kt	54.0 kt		52.0 kt	59.0 kt	58.3 kt	5.2 kt	(9%)
2011					60.0 kt				

* "mcs a+1" donne la production de l'année a de la ligne telle qu'affichée dans le Mineral Commodity Summary (MCS) de l'USGS de l'année suivante a+1. "mcs a+2" donne la production de l'année a telle qu'affichée dans le MCS de deux ans après (a+2), donc corrigée par rapport à a+1.

Tableau 10 - Production minière de tungstène par la Chine selon les sources.

On constate une divergence importante des estimations de production, et cette divergence est d'autant plus significative que la Chine domine largement la production mondiale. En particulier, les écarts de production d'une source à l'autre sont nettement supérieurs aux écarts rapportés entre la production et la consommation mondiale. Par exemple pour 2010, ITIA rapportait une production minière mondiale de 69 895 t de tungstène et une consommation de 70 750 t.

Roskill (2011) interprète la différence entre les chiffres de production chinois affichés par ITIA (67 kt en 2010) et le CTIA (59,3 kt en 2010) par le fait que le CTIA donnerait la production officielle légalement autorisée, alors que l'ITIA ajoute une estimation de la

production illégale, en se basant sur les exportations et une estimation de la consommation intérieure. Une autre explication possible serait que les 67 kt de l'ITIA, basés sur les exportations et la consommation intérieure, intègre la production secondaire (recyclage), qui serait alors de l'ordre de 7 à 8 kt. Mais le détail n'est pas publié.

Le tableau 11 et la figure 17 illustrent la répartition de la production minière de tungstène en 2010 telle que résumée par Roskill (nov. 2011) – où la production chinoise retenue était de 60 kt, légèrement supérieur au chiffre de CTIA mais inférieur au chiffre de ITIA, et de 2011 telle que rapportée par l'USGS en janvier 2011, à l'exception du Pérou, dont la production a été corrigée d'après les données plus récentes publiées par le producteur Malaga Inc.

Production mondiale de tungstène

Sources : 2010 : Roskill, nov. 2011 ;
2011 : USGS, janv.2012 ; Pérou : www.malaga.ca

Pays	2010	2011	Parts 2010
Chine	60.00 kt	60.00 kt	85.8%
Russie	2.78 kt	3.10 kt	4.0%
Bolivie	1.19 kt	1.20 kt	1.7%
Vietnam	1.15 kt	<i>n.c.</i>	1.6%
Autriche	0.98 kt	1.10 kt	1.4%
Portugal	0.80 kt	1.30 kt	1.1%
Pérou	0.56 kt	0.48 kt	0.8%
Canada	0.42 kt	2.00 kt	0.6%
Thaïlande	0.27 kt	2.92 kt	0.4%
Brésil	0.25 kt		0.4%
Espagne	0.23 kt		0.3%
Mongolie	0.19 kt		0.3%
Corée du Nord	0.11 kt		0.2%
Kazakhstan	0.03 kt		0.04%
Autres	0.96 kt		1.4%
TOTAL	69.89 kt		72.10 kt

Tableau 11 - Répartition de la production minière mondiale de tungstène en 2010 et 2011

Production mondiale de tungstène en 2010, en kt de W contenu

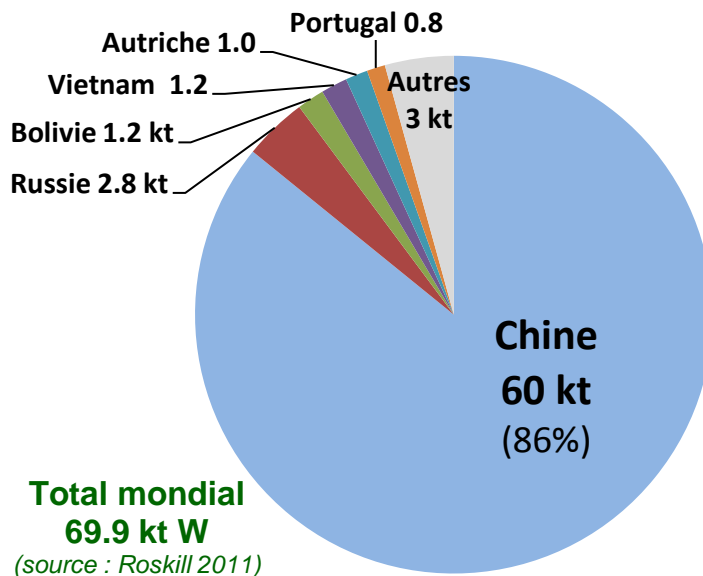


Figure 17 - Répartition de la production minière mondiale de tungstène en 2010.

4.3.2. Production historique

La production mondiale de tungstène primaire est passée de 1,7 kt en 1905 à environ 72,1 kt en 2011, soit une croissance moyenne de 3,6 % par an depuis 105 ans. Mais cette croissance, assez régulière sur le long terme, a été très irrégulière sur le court et moyen terme, comme l'illustre la fig. 18.

La quantité totale cumulée de tungstène produit dans le monde par extraction minière 1905 et 2011 a été de 2,96 Mt W, du même ordre de grandeur que les réserves actuellement identifiées (3,08 Mt, cf. Tab. 6).

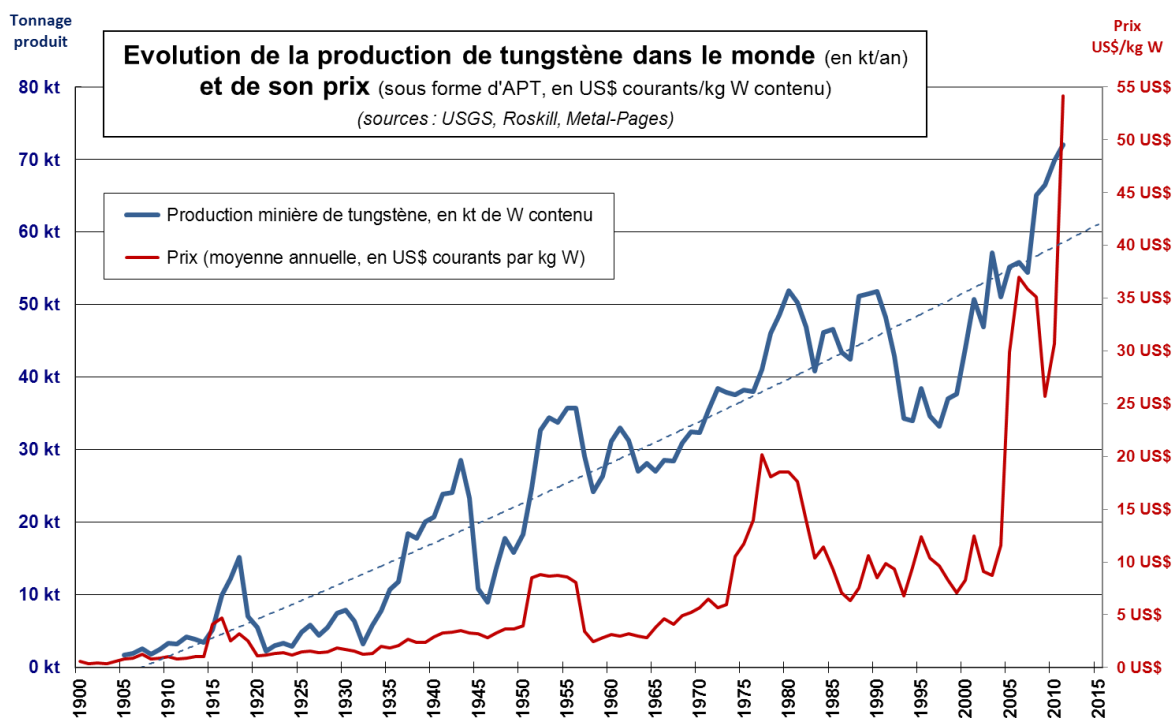


Figure 18 - Évolution historique de la production mondiale de tungstène primaire

4.4. PROCÉDÉS DE PRODUCTION

4.4.1. Extraction minière

La plupart des exploitations minières, en particulier en Chine (Jiangxi, Hunan, Guangdong) se font en souterrain. Il existe quelques exploitations à ciel ouvert (Kara et Wolfram Camp en Australie, Trudovoye au Kirghizstan, Los Santos en Espagne, cf. Tab.7).

Il s'agit généralement d'exploitations de taille modeste, comparées aux exploitations de la plupart des autres métaux, extrayant moins de 2 000 t de minerai par jour.

Il existe aussi des exploitations en toute petites mines ou artisanales, avec tri manuel, là où une main d'œuvre très bon marché le permet, en Bolivie, en Chine et en Afrique des Grands Lacs par exemple.

4.4.2. Minéralurgie, concentration des minerais

Les minerais bruts titrent généralement moins de 1% WO_3 , ils doivent donc être traités sur place, soit pour obtenir des concentrés commercialisables à 65 à 75 % de WO_3 , soit, dans le cas d'opérations intégrées, pour obtenir un préconcentré d'où sont produits sur place le paratungstate d'ammonium (APT), les oxydes, ou même le tungstène métal, comme à Mittersill (Autriche).

Les procédés consistent en un broyage à la maille de libération du minéral tungstifère, suivis de traitements pouvant inclure des classements granulométriques, gravimétriques, par flottation, magnétiques, électrostatiques et/ou photométriques.

La flottation permet d'enrichir la scheelite ou de séparer ou éliminer les sulfures.

La séparation magnétique permet de séparer la wolframite de la cassitérite et de la scheelite, et permet de séparer la scheelite des grenats ou de la pyrite, par exemple.

La séparation électrostatique permet de séparer la scheelite de la cassitérite.

La séparation photométrique permet de séparer automatiquement le quartz (blanc) de la wolframite (sombre) : dans l'ancienne exploitation de Mt Carbine, dans le Queensland, des trieurs photométriques qui traitaient 3 fourchettes granulométriques de 14 à 120 mm séparaient le quartz de la wolframite, permettant de récupérer 97 % de la minéralisation et de rejeter 98 % de la gangue (Pastor, 2000).

Un exemple de séquence de traitement, celui de l'usine de Xihuashan, dans le Jiangxi, en Chine, est illustré en figure 19.

4.4.3. Production du paratungstate d'ammonium

Le paratungstate d'ammonium, ou APT⁷, de formule $(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, est le principal produit intermédiaire pour la production de la plupart des composés du tungstène puis du tungstène métal. C'est aussi le principal produit commercialisé sur le marché entre les producteurs primaires et les industries de transformation.

Il est obtenu à partir des concentrés de wolframite et de scheelite ou des scraps de tungstène, en général par des attaques alcalines (fusion alcaline à haute température pour les scraps durs, lixiviation alcaline sous pression pour les concentrés de wolframite, de scheelite et de certains scraps), parfois par une attaque acide (concentrés riches de scheelite).

Après attaque alcaline, on obtient du tungstate de sodium impur qui subit plusieurs étapes de purification (résines échangeuses d'ion, extractions par solvants, etc.). L'attaque acide donne de l'acide tungstique H_2WO_4 . Ces produits sont ensuite traités par l'ammoniaque pour donner des solutions de tungstates d'ammonium, qui sont ensuite cristallisées en paratungstate d'ammonium.

Le schéma de la figure 20 récapitule de manière succincte ces étapes.

⁷ APT, de l'anglais Ammonium ParaTungstate.

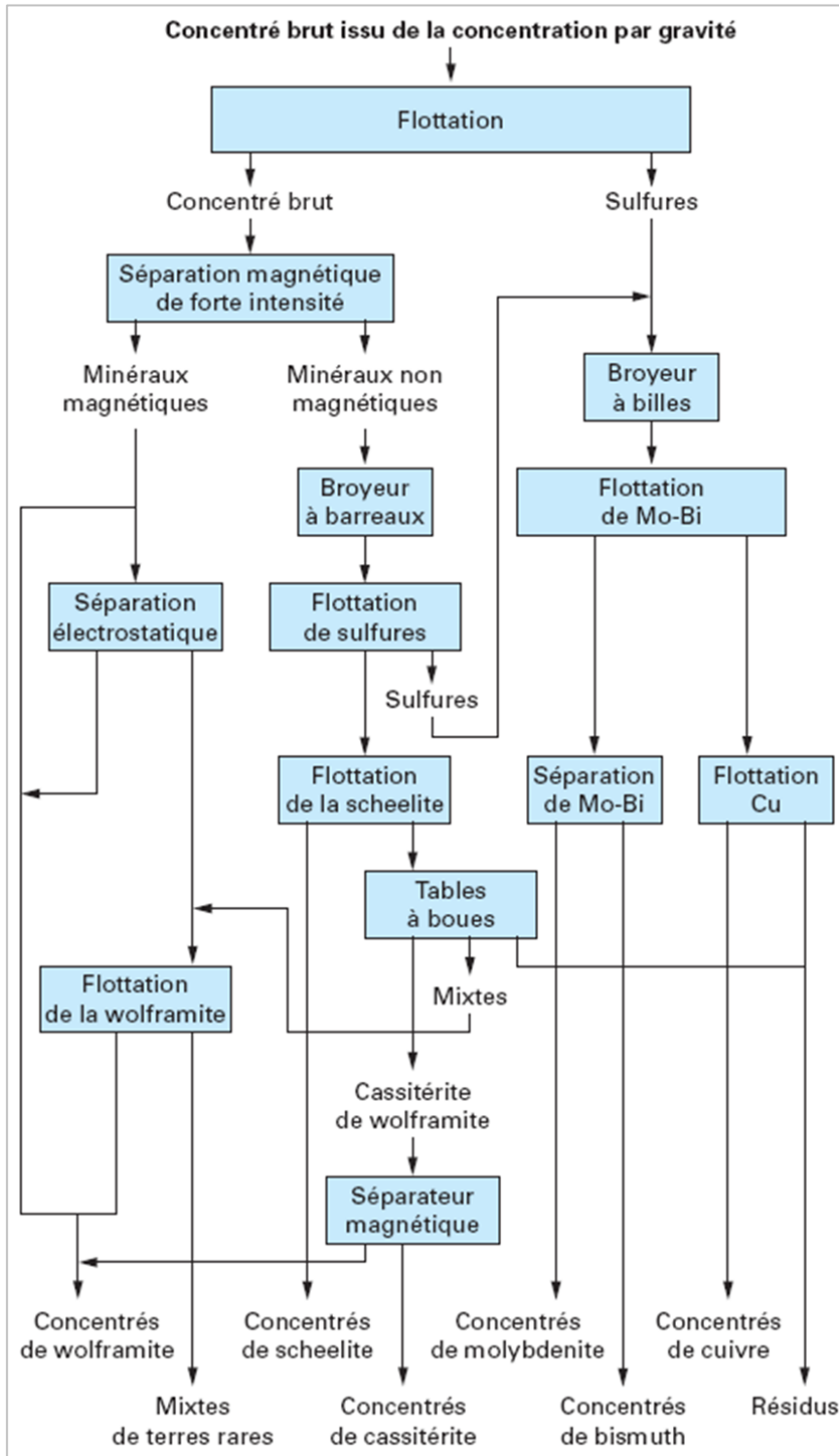


Figure 19 - Schéma du traitement des minerais de tungstène à l'usine de Xihuashan, en Chine (traduit et adapté par Pastor, 2000, d'après Zhao Quinsheng in Lassner & Schubert, 1999)

Schéma simplifié des processus de production de l'APT

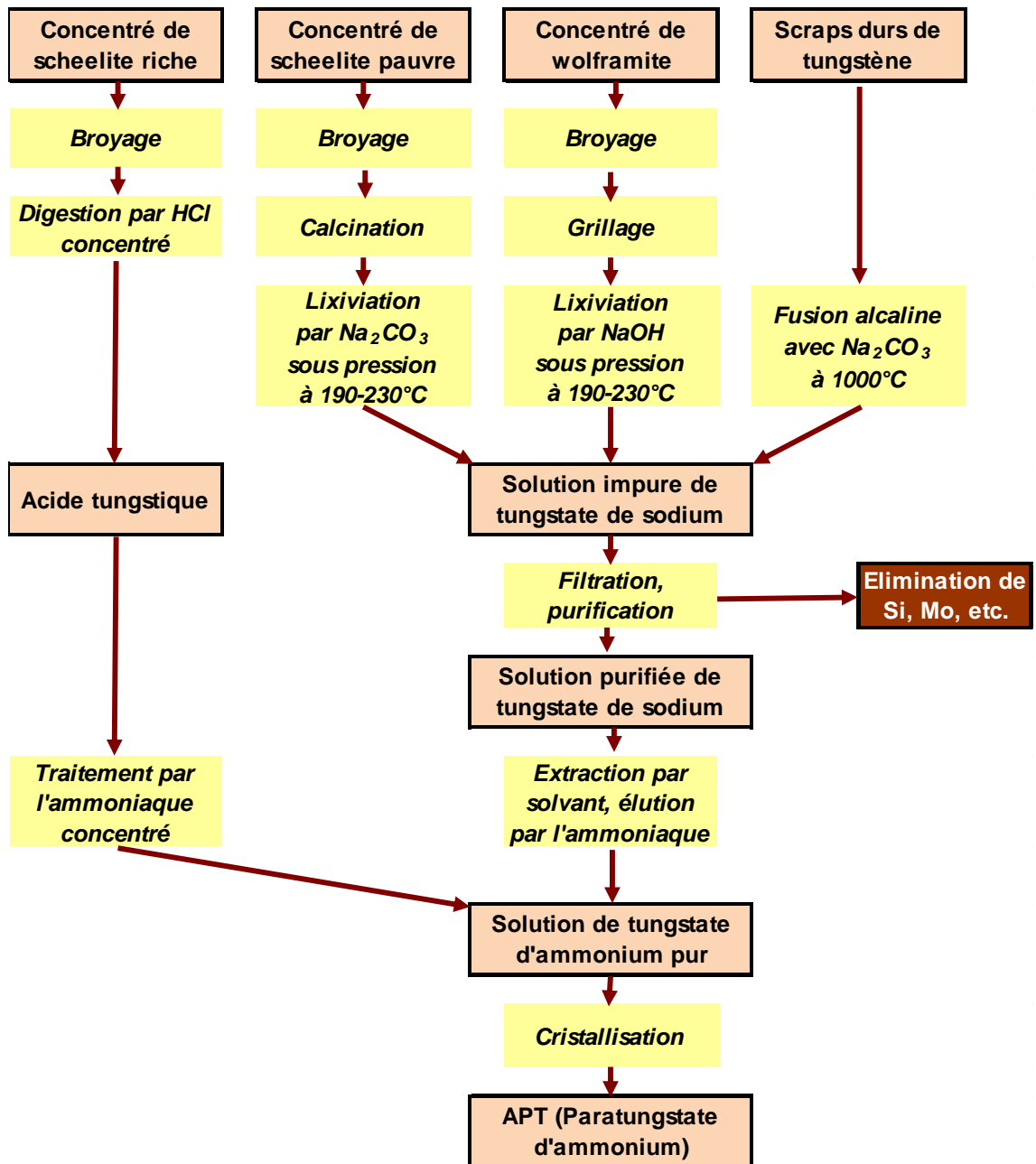


Figure 20 - Schéma simplifié de production du paratungstate d'ammonium (adapté d'après Lassner et Schubert, 1999, Pastor, 2000, Roskill, 2011).

4.4.4. Production des oxydes de tungstène et de l'acide tungstique

L'oxyde bleu de tungstène (WO_{3-x}) est obtenu par calcination de l'APT sous conditions réductrices. Le trioxyde de tungstène (WO_3), ou oxyde jaune, est obtenu par calcination de l'APT à l'air.

L'acide tungstique H_2WO_4 est produit par réaction de l'acide chlorhydrique sur une pulpe aqueuse d'APT.

4.4.5. Production du tungstène métallique

Le tungstène métallique est obtenu d'abord sous forme de poudre de tungstène par réduction de l'oxyde bleu ou de l'oxyde jaune de tungstène par l'hydrogène à haute température (700 à 1000 °C).

Les pièces finies en tungstène sont ensuite élaborés par métallurgie des poudres, par frittage. Ces procédés permettent d'élaborer des filaments, tiges, aiguilles et tôles de tungstène par compression des poudres et recuit, ce qui permet de former des pièces métalliques sans atteindre la température de fusion, très élevée, du tungstène.

4.4.6. Production de la poudre de carbure de tungstène

Le carbure de tungstène s'obtient par réaction du carbone de haute pureté (noir de carbone ou graphite) avec la poudre de tungstène entre 1 300 et 2 200 °C sous atmosphère d'hydrogène. Des variations de température, de granulométrie de départ et de divers autres paramètres permettent d'obtenir une gamme de granulométries de carbure de tungstène.

4.4.7. Production du ferrotungstène

Le ferrotungstène à 75 % à 85 % W est l'alliage de base pour la production des aciers au tungstène. Le ferrotungstène peut être obtenu par réduction de concentrés riches de wolframite ou de scheelite par le carbone dans des fours à arcs électrique, ou encore par réduction par le silicium ou l'aluminium.

4.5. RECYCLAGE

4.5.1. Statistiques de recyclage

Le recyclage alimenterait entre un quart et un tiers de la demande mondiale en tungstène. Pastor (2000), Mining Journal (2008) et Roskill (2011) citent une contribution de 34 % du tungstène issu du recyclage pour alimenter la demande, et un taux de recyclage (la proportion de tungstène consommé qui alimente le circuit de recyclage) de 34 %, dont 10% issus des rebuts de fabrication et 24 % issus des produits finis en fin de vie, selon le schéma suivant (Fig.21):

Schéma du bilan du recyclage du tungstène

(sources : Pastor (2000), Roskill (2011) d'après ITIA)

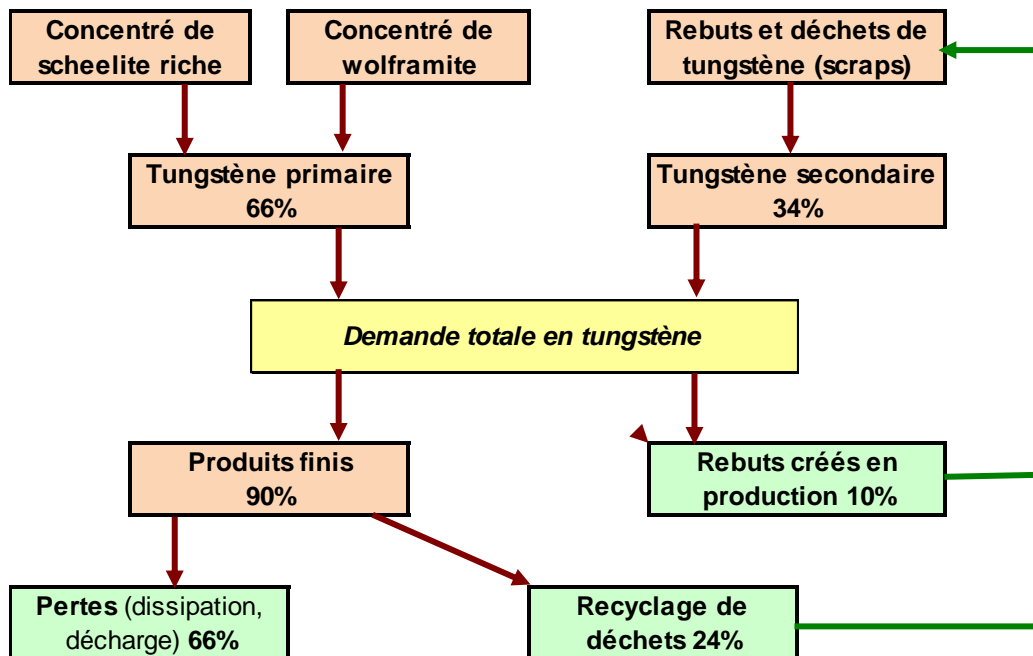


Figure 21 - Schéma du bilan du recyclage du tungstène

ITIA (2011) et BGS (2011) citent, eux, un taux de recyclage probable de 35 à 40 %. Et Roskill, ailleurs, cite un taux d'approvisionnement du marché par le tungstène recyclé de 25 à 30 %.

Par ailleurs, ITIA et Roskill citent une production minière de tungstène d'un ordre de grandeur similaire, à quelques pourcents près, à la consommation (par exemple pour 2010, production minière de 69,9 kt de W, et consommation de 70,75 kt de W). Compte tenu des taux d'alimentation du marché par du tungstène secondaire, il faut interpréter que ce qui est souvent affiché comme « consommation » n'est en réalité que la consommation de tungstène primaire, bien que cela ne soit généralement pas explicitement précisé.

La consommation globale de tungstène par l'industrie serait alors en réalité 1/3 plus élevée, de l'ordre de 90 kt pour 2010⁸.

L'USGS publie le niveau de la production de tungstène secondaire par les États-Unis. Celle-ci est restée à des ordres de grandeur de 4 à 5 kt/an entre 2003 et 2010 pour

⁸ Roskill (2011) cite : « Les données sur les quantités de scrap recyclés ne sont généralement pas disponibles, car la plupart des sociétés considèrent cette information comme confidentielle. Cependant, une moyenne de 25 à 30 % tend à être utilisée comme le chiffre à ajouter à la demande de matériau primaire, ce qui amènerait la demande totale globale de tungstène en 2010 à 90 kt ».

monter à 10 kt en 2011 (Tab.12). Cette production s'ajoute effectivement aux productions primaires du tableau 9.

	Production de W secondaire
2003	4.13 kt
2004	4.00 kt
2005	4.67 kt
2006	4.49 kt
2007	4.33 kt
2008	4.79 kt
2009	3.55 kt
2010	5.88 kt
2011	10.00 kt

Tableau 12 - Production de tungstène secondaire aux États-Unis (source : USGS)

4.5.2. Procédés de recyclage

L'industrie du tungstène est capable de recycler la plupart des scraps tungstifères, en les remettant dans le circuit de production de l'APT (cf. fig.17). Compte tenu de la teneur en tungstène des déchets comparée à celle des minerais primaires (1 % W ou moins), le recyclage est généralement économiquement intéressant.

Le tableau 13 présente la concentration en tungstène des principaux déchets :

Matériau	Teneur W
Carbures cimentés	> 90 %
Aciers au tungstène	0,5 % à 20 %
Aciers de moulage du plastique	1 %
Ferrotungstène	75 % à 85 %
Superalliages	1 % à 25 % (et jusqu'à 20 éléments différents)

Tableau 13 - Teneurs en tungstène des différents matériaux des déchets.

Les carbures cimentés propres sont retraités par un procédé « au zinc » : les déchets sont classifiés et nettoyés puis traités par le zinc liquide vers 1000 °C sous argon-azote. Il se forme un intermétallique Co-Zn avec le cobalt de la matrice, qui gonfle et fait éclater le matériau. On distille ensuite le zinc sous vide. Ce procédé permet de récupérer de la poudre de tungstène mais aussi le cobalt et le tantale éventuel.

Les autres types de déchets au tungstène dits « durs » (pièces en tungstène métallique) sont retraités par fusion alcaline pour produire de l'APT (cf. fig.20). Les déchets au tungstène dits « mous » (poudres, boues, mélanges) sont retraités comme les concentrés miniers par lixiviation alcaline (cf. fig.20).

Le tungstène des déchets qui contiennent du métal en très petites quantités, comme les filaments d'ampoules), sont difficilement valorisables.

Dans les déchets et rebuts recyclés, le taux de récupération du tungstène contenu serait de l'ordre de 98% (Pitfield, BGS, 2011).

4.6. LES LIMITES DE L'OFFRE : RÉGLEMENTATIONS ET PROCÉDURES

4.6.1. Les quotas chinois

La Chine, qui produit plus de 80 % du tungstène primaire mondial, a pris une série de mesures destinées d'abord à maintenir des prix suffisants (avant 2004) puis à protéger la ressource et sécuriser ses besoins intérieurs après 2004 :

- 1991 : Le tungstène est mis sur la liste des ressources protégées ;
- 2000 : Quotas de production pour les mines existantes, suspension de l'attribution de nouveaux permis d'exploitation ;
- 2001 : Mise en place de quotas d'exportation pour les divers produits tungstifères ;
- 2007 : Interdiction des investissements étrangers dans l'exploration et l'exploitation du tungstène. Imposition d'une taxe à l'exportation de 5 %, passée temporairement à 10 % en 2008 puis revenue à 5 % (Roskill, 2011).

En novembre 2011, la Chine a encore réduit ses quotas officiels d'exportation de 15,7 kt en 2011 à 15,4 kt pour 2012. 15 entreprises chinoises disposent de licences d'exportation.

Parallèlement, elle a augmenté ses quotas de production pour faire face à la demande intérieure, passés de 59 kt de concentré (à 65% WO₃) en 2006 à 87 kt en 2011. Cependant, selon Research in China (2011), la production réelle de 2010 a nettement dépassé les quotas.

4.6.2. La loi Dodd Frank

Le Titre XV de la loi Dodd-Frank promulguée en juillet 2010 aux États-Unis entend proscrire les importations de substances minérales de là où elles sont susceptibles d'alimenter des conflits armés et des violations graves des droits de l'homme, en particulier de la Région des Grands-Lacs en Afrique Centre-Orientale (Est de la R.D. du Congo et pays voisins).

Ces dispositions s'appliquent surtout à l'étain (cassitérite), au tantale (colombotantalite, « coltan ») et au tungstène (wolframite) des provinces du Nord et Sud Kivu et de Maniéma, en R. D. du Congo, lequel a produit 360 t de W en 2010, soit 0,5 % de la production mondiale. Elles pourraient probablement en produire davantage avec une pacification et une organisation plus rationnelle.

4.7. STOCKAGES STRATÉGIQUES ET DÉSTOCKAGES

4.7.1. États-Unis

Les États-Unis avaient constitué des stocks stratégiques de tungstène (entre autres), en majorité sous forme de concentré, mais aussi sous forme de poudre de carbure de tungstène, de poudre de tungstène et de ferrotungstène. Ce stock atteignait 25 966 t de tungstène contenu sous ces diverses formes fin 1998. À partir de juillet 1999, considérant que ces stocks étaient excessifs, les États-Unis ont commencé à en remettre sur le marché une partie, au rythme de 700 à 3 000 t/an (Tab.11), pour un total d'un peu plus de 21 kt W.

Le stock de défense résiduel fin 2011 publié par l'USGS (Shedd, janv.2012) était de 15 896 kt W, soit un déstockage net de seulement 12 223 t W. Il y a donc eu aussi des restockages partiels pendant la même période, en particulier avec plus de 6 800 t restockées en 2001.

Les ventes de déstockage ont actuellement cessé (juin 2012), selon le Defense Logistic Agency – Strategic Materials (nouveau nom de l'ancien Defense National Stockpile Center, www.dnsc.dla.mil).

Année	Déstockage des stocks de défense US
1997	0 t W
1998	0 t W
1999	1 497 t W
2000	2 318 t W
2001	1 870 t W
2002	281 t W
2003	1 539 t W
2004	312 t W
2005	2 518 t W
2006	3 763 t W
2007	1 314 t W
2008	1 501 t W
2009	261 t W
2010	2 670 t W
2011	1 191 t W
Total	21 035 t W

Tableau 14 - Déstockage annuel brut du stock de défense étatsunien de tungstène, selon l'USGS (1998 à 2012)

4.7.2. Japon

Le Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC) maintient un stock national de certains métaux stratégiques dont le tungstène, mais ne publie pas les quantités stockées ou déstockées.

4.7.3. Autres pays

D'autres pays maintiennent peut-être des stocks stratégiques de tungstène mais l'information n'est pas détaillée.

4.8. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION

Suite à la crise financière de 2008-2009 et ses conséquences immédiates sur les marchés des métaux, certaines exploitations avaient été suspendues, pour redémarrer en 2010 suite à l'envolée des prix du tungstène (cf. 5.1). Par exemple la mine de tungstène de Cantung, au Canada, qui produisait un peu plus de 2 kt W par an, avait été arrêtée et mise en "care and maintenance" en octobre 2009 pour redémarrer en octobre 2010.

La hausse des prix du tungstène à partir de janvier 2010 et encore davantage à partir d'août 2010 a conduit non seulement à faire redémarrer certaines mines suspendues, mais aussi à relancer certains projets d'exploration et de développement de nouveaux sujets qui avaient été ralentis.

Il existe une bonne quinzaine de nouveaux projets de mines de tungstène assez avancés dans le monde, qui pourraient être mis (ou remis) en exploitation entre 2012 et 2016, en particulier en Australie et au Canada, mais certains avec des durées de vie très courtes (2 ou 3 ans) (cf. Tab.8)

5. Prix du tungstène

5.1. ÉVOLUTION RÉCENTE DES PRIX

Il n'y a pas de marché international spot du tungstène, ni de cotation publique. Les prix s'établissent par négociations directes de contrats entre producteurs primaires et transformateurs ou utilisateurs.

La majorité des échanges internationaux concerne soit des concentrés (généralement vers 65 % WO_3), du paratungstate d'ammonium (APT), du ferrotungstène (généralement à 75 % W), des oxydes de tungstène jaune ou bleu, ainsi que de la poudre de carbure de tungstène.

Metal Bulletin (www.metalbulletin.com) publie des fourchettes des prix d'échanges relevés des produits suivants (Tab.15) :

Description	Bas	Haut	unité
Ferro-tungstène base 75% W, en entrepôt Rotterdam, duty unpaid	54.25	55.50	US\$/kg W
Ferro-tungstène min. 75% W, Hong Kong, FOB principaux ports chinois	54.50	57.00	US\$/kg W
APT, Hong Kong, FOB principaux ports chinois	395	405	US\$/mtu
APT, marché libre européen	390	415	US\$/mtu
APT, marché libre USA	390	410	US\$/stu
Concentré de minerai min. 65% WO_3 , CIF Europe	140	160	US\$/mtu
Concentré de minerai min 65% WO_3 , marché libre chinois, en entrepôt Chine	126 000	127 000	RMB/t

Rappels : 1 mtu équivaut à 7,931 kg W. 1 st (short ton) = 0,9072 t, donc 1 stu équivaut à 7,195 kg W

Tableau 15 - Liste des produits tungstifères dont les prix sont publiés par Metal Bulletin, et fourchette des prix en date du 15 juin 2012

Les prix du ferrotungstène sont donnés en US\$ par kg de W contenu. Les prix de l'APT et des concentrés sont donnés en US\$/mtu (= mtu WO_3). La « mtu » de WO_3 est la « metric ton unit » de WO_3 , qui est la quantité qui contient 10 kg de WO_3 (1 % d'une tonne métrique), soit 7,931 kg de tungstène élémentaire (W) contenu.

Aux États-Unis, les prix peuvent être donnés en US\$/stu (« short ton unit »).

Il n'est pas publié de prix du tungstène métallique pur.

Metal Pages (www.metal-pages.com) publie deux fois par semaine une fourchette de prix d'échanges d'APT, du ferrotungstène, de l'oxyde de tungstène (bleu ou jaune), du carbure de tungstène, et de minerais concentrés >65 % WO_3 , avec des historiques depuis 2001.

La figure 22 illustre l'évolution du prix de l'APT sur le marché européen depuis 2001, établi comme moyenne des prix hauts et prix bas publiés par Metal Pages, en US\$/mtu.

La figure 23 illustre l'évolution de ces mêmes prix de l'APT, convertis en US\$/ kg de W contenu (c.à.d. prix mtu divisés par 7,931), ainsi que les prix du ferrotungstène, en US\$/kg de W contenu, du carbure de tungstène, en US\$/kg, et des oxydes de tungstène, en US\$/kg.

On constate que les prix du tungstène ont eu tendance à évoluer par paliers : le prix de l'APT est passé de 7,43US\$/kg de W contenu en moyenne sur les deux années 2002-2003 à 31,4 US\$/kg W en moyenne sur les trois années 2006-2008. Cette multiplication par 4 du prix dans l'intervalle est liée au fort décollage économique chinois, qui avait tiré à la hausse les prix de pratiquement tous les métaux.

Le prix a ensuite baissé temporairement à partir de fin 2008 et en 2009 (25,5 US\$/kg W en moyenne sur l'année 2009) suite à la crise financière de fin 2008, soit une baisse de 19 % par rapport à la moyenne des trois années précédentes. C'est une baisse relativement modérée comparée à celle de nombreux autres métaux à la même période.

Le prix est nettement remonté en 2010 et début 2011, pour atteindre un record de 60,5 US\$/kg W (480 US\$/mtu) début juin 2011, puis revenir à 50,4 US\$/kg mi-juin 2012.

La moyenne sur 1 an entre le 15 juin 2011 et le 15 juin 2012 s'est établie à 56 US\$/kg, soit nettement au-dessus des prix de toutes les années antérieures à 2011.

Parmi les explications au maintien des prix élevés malgré les récurrences de la crise mondiale, on pourra citer :

- le fait que certaines mines avaient été suspendues fin 2009 avec la baisse des prix, et que plusieurs projets en développement avaient été ralentis, d'où une baisse de l'offre immédiate et prévisible à court terme, malgré un relatif maintien de la demande ;
- la baisse des quotas d'exportation chinois (cf. 4.6).

La hausse des prix du tungstène depuis fin 2004 et à nouveau en 2011 a contribué à la relance récente de projets alternatifs dans divers pays.

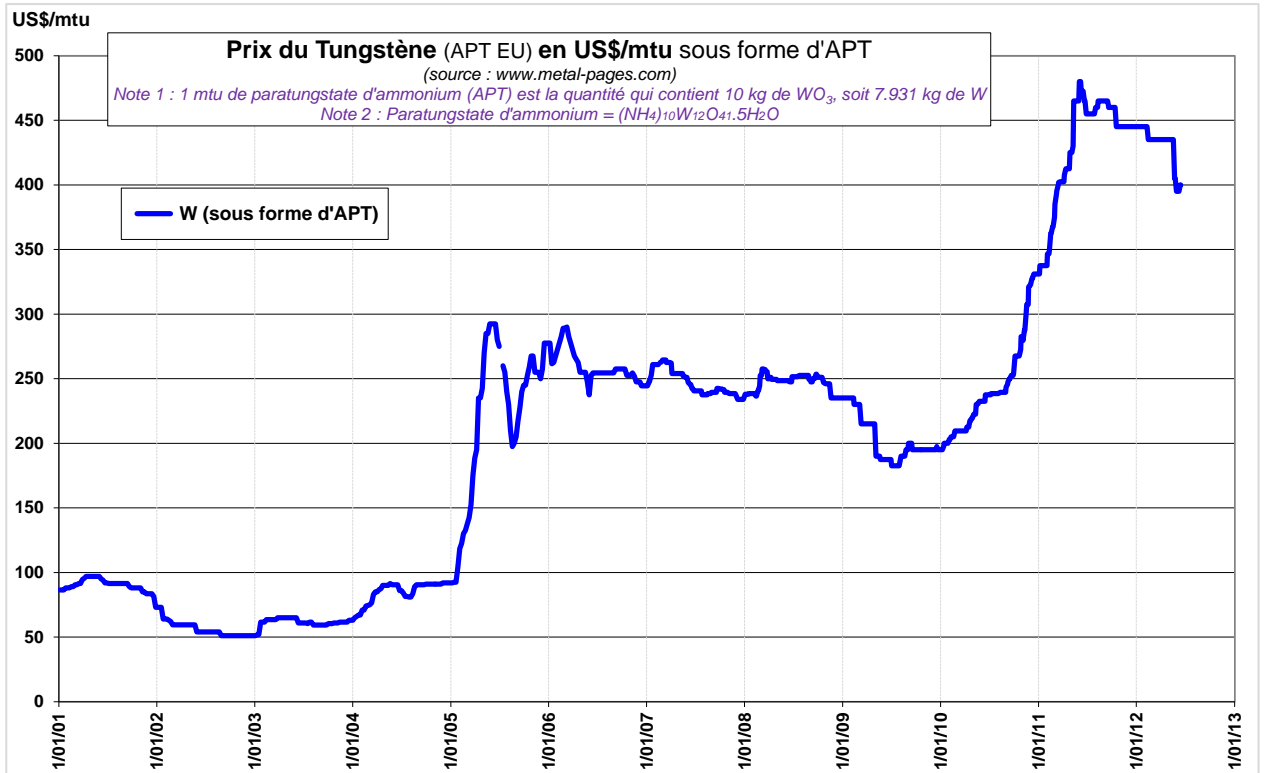


Figure 22 - Évolution du prix du paratungstate d'ammonium (APT) depuis 2001 (source : www.metal-pages.com, moyennes bas-haut).

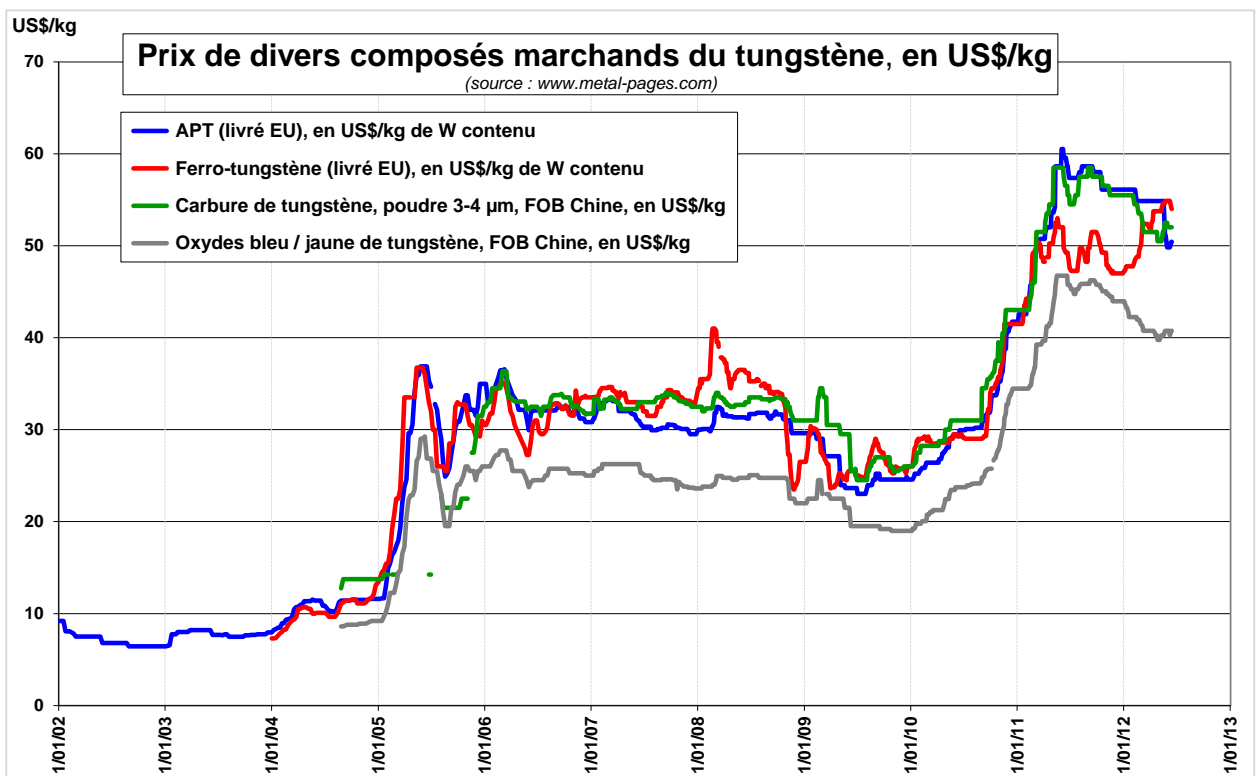


Figure 23 - Évolution des prix de l'APT, du ferrotungstène, du carbure de tungstène et des oxydes de tungstène depuis 2002-2004 (source : www.metal-pages.com).

5.2. ÉVOLUTION HISTORIQUE DES PRIX

Le graphique de la figure 24 illustre l'évolution des prix du tungstène depuis 1935, en moyenne annuelle. Les valeurs antérieures à 2001 sont celles publiées par l'USGS, qui ne spécifie pas sa référence de prix. Les valeurs à partir de 2001 sont les moyennes des prix de l'APT en US\$/kg de W contenu, qui correspondent grosso-modo au prix de l'USGS pour ces mêmes années. Les deux séries de données sont donc vraisemblablement cohérentes et ont été mises en continuité. Le graphique indique aussi les variations de prix en dollars constants de 2011.

Les très faibles prix du tungstène entre 1985 et 2004 sont dus à une situation de production excédentaire chinoise et des exportations massives qui ont permis à la Chine d'acquiescer son monopole (en 1986, la Chine ne produisait que 34 % du tungstène primaire mondial). Dans un premier temps (années 1980), les prix très faibles ont conduit à la fermeture d'une grande partie des mines non chinoises, et en particulier les mines françaises et d'autres mines européennes. Puis la Chine a inondé le marché d'APT, au point qu'en 1992, le prix de l'APT (55,38 US\$/mtu en moyenne sur l'année) a été inférieur à celui du concentré (56,4 US\$/mtu), conduisant à la fermeture des unités de production d'APT hors Chine.

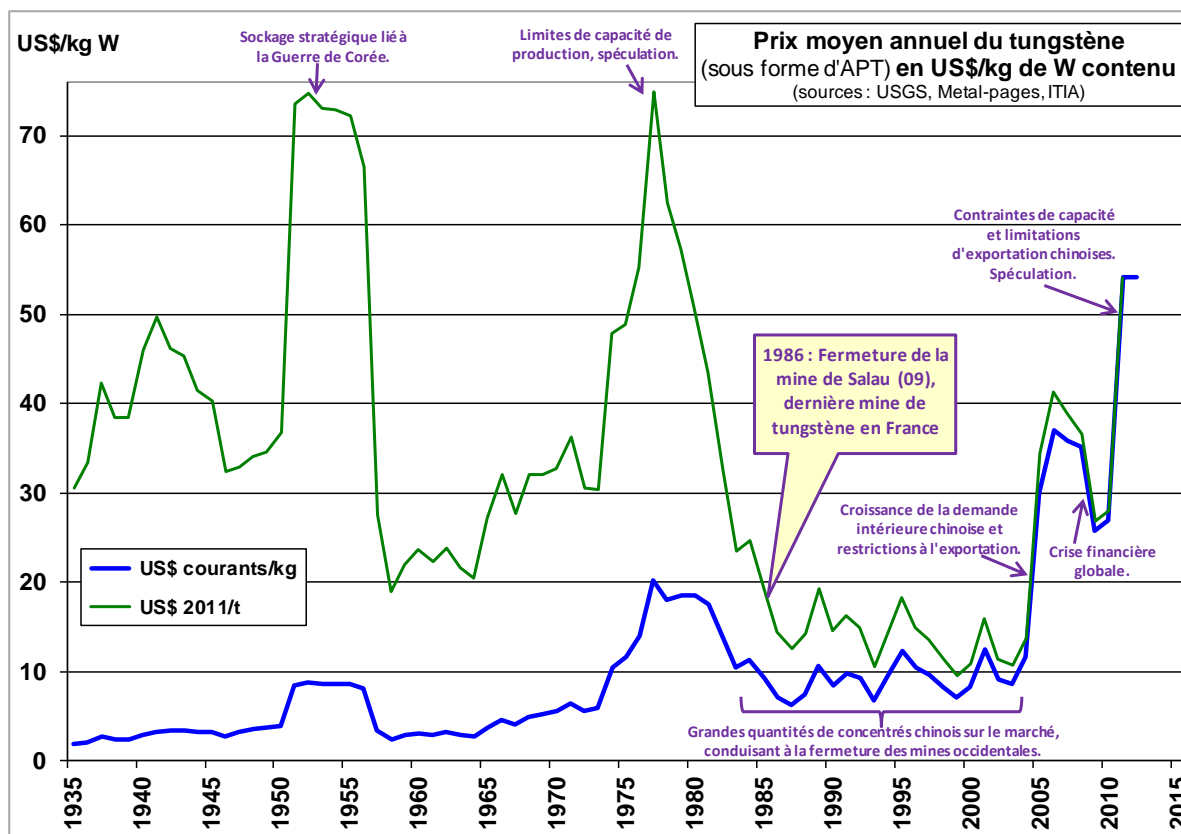


Figure 24 - Évolution historique du prix du tungstène depuis 1935

À partir de 2004 et le fort développement économique et industriel de la Chine, sa demande intérieure s'est fortement accrue, et la Chine a inversé sa politique de nombreuses matières premières, cherchant désormais à en limiter les exportations. Elle a pris des mesures progressives de quotas de production puis d'exportation (cf. 4.6). La stratégie chinoise est désormais plus orientée vers la création de valeur ajoutée que vers l'exportation de matières premières brutes. Elle tire par ailleurs profit des prix élevés des produits intermédiaires (APT et oxydes), et un retour au dumping de ces matières premières ne semble plus d'actualité.

La fermeture des dernières mines de tungstène françaises (Montbelleux en 1983, La Favière en 1985 et Salau en 1986) correspond à une période de forte chute et de grande faiblesse des prix. Les prix atteints par le tungstène en 2011 - 2012 devraient conduire à réexaminer l'intérêt économique des gisements français.

5.3. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION FUTURE DES PRIX

Au deuxième semestre 2011, les analystes s'attendaient à une croissance de la demande en tungstène de plus de 5 % par an d'ici 2016. En face, l'offre minière était aussi attendue en croissance, avec le lancement de plusieurs nouvelles exploitations, en particulier hors Chine (Australie, Canada, etc.). La fig. 25 illustre l'évolution récente de la production et de la consommation de tungstène primaire et de son prix, et illustre les anticipations de production et de consommation de 2012 à 2016 (Roskill, 2011).

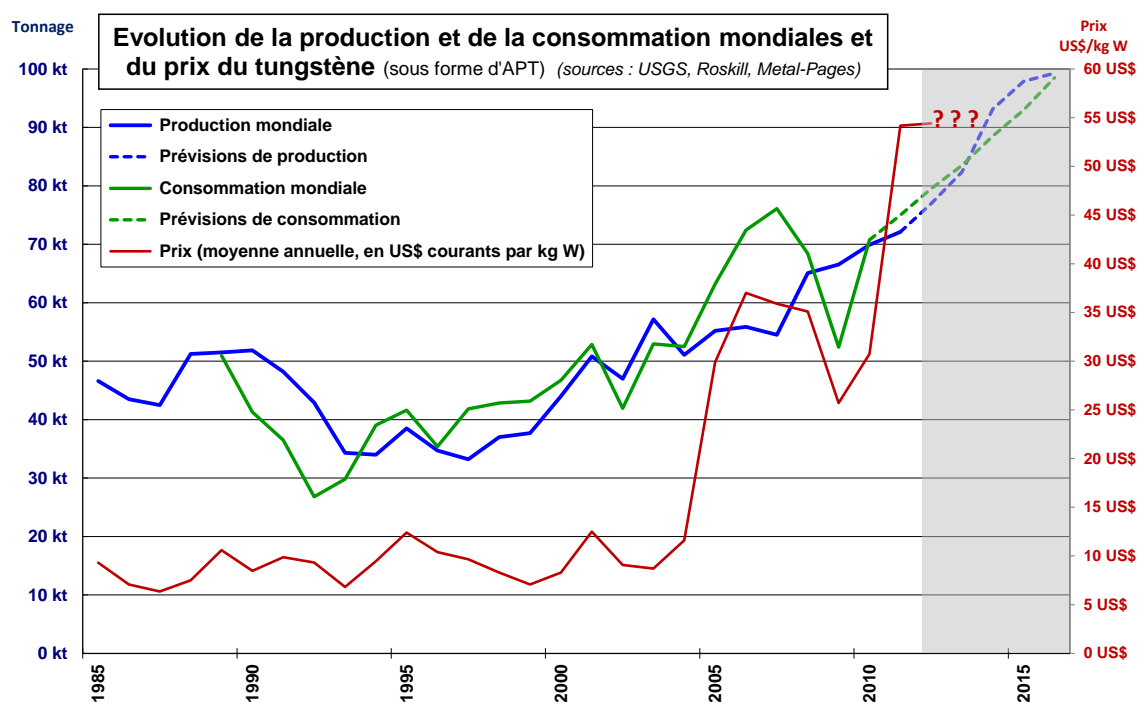


Figure 25 - Évolution récente de la production et de la consommation primaire et des prix du tungstène depuis 1985, et tendances d'évolution pour 2012-2016.

Les déclinaisons récurrentes de la crise économique et financière mondiale et en particulier la crise de la zone Euro rendent cependant les prévisions hasardeuses.

De plus, on a vu en 4.3.1 que les statistiques de production ont une large fourchette d'incertitude (jusqu'à + ou – 30 % selon les sources. Les statistiques de consommation ne sont probablement guère plus précises. La fourchette d'incertitude sur les données est bien supérieure à l'écart calculé entre la production et la consommation. On ne peut donc pas déduire si l'on se trouve ou si on se trouvera, dans la réalité, en situation de pénurie ou de surplus global.

Il est donc très difficile d'anticiper une évolution des prix. Il est cependant peu probable qu'ils retombent aux niveaux qu'ils avaient en 2001-2003, car cela conduirait à fermer l'essentiel des mines non-chinoises, qui ne seraient plus rentables. Or la Chine ne suffira plus à satisfaire la demande extérieure mondiale, d'une part par sa consommation intérieure et sa politique de quotas, mais aussi parce que ses coûts de production augmentent, car le prix de sa main d'œuvre augmente, et elle prend progressivement en compte les contraintes environnementales et les coûts associés.

6. La filière industrielle

6.1. LES PRINCIPAUX PRODUCTEURS MINIERS DE TUNGSTÈNE

Les principales sociétés productrices minières de tungstène sont récapitulées dans le tableau 7 (cf. 4.2.2), et celles qui détiennent des projets avancés et pourraient devenir productrices à court terme sont récapitulées dans le tableau 8 (cf. 4.2.2).

La Chine à elle seule représente 80 à 85 % de la production mondiale de tungstène, avec une vingtaine de mines importantes en exploitation, surtout dans le Jiangxi, le Hunan, le Guangdong, mais aussi dans plusieurs autres provinces. Ces exploitations sont contrôlées *pro parte* par la société d'État China Minmetals et *pro parte* par des organismes provinciaux.

Il existe une vingtaine d'autres exploitants minières de tungstène à échelle industrielle dans le monde (Australie, Autriche, Brésil, Canada, Espagne, Mongolie, Pérou, Portugal, Russie – surtout en Extrême-Orient russe –, USA, Vietnam).

Il existe aussi nombre de mines de petite taille (Birmanie, Bolivie, Corée du Nord, Kirghizstan), voire de mines artisanales (Burundi, Congo-Kinshasa, Rwanda).

Il y a eu 13 exploitations minières de tungstène en France métropolitaine (cf. 4.2.3 et tab. 9), dont 5 ont produit plus de 1000 t WO₃. La dernière, la mine de Salau, exploitée par la Société des Mines d'Anglade, a fermé en 1986.

Dans le monde occidental, on remarquera que les multinationales minières majeures sont toutes absentes du secteur du tungstène. Il s'agit soit de juniors, soit de filiales de groupes industriels métallurgistes ou plus diversifiés (Sandvik, Sojitz ...).

6.1.1. Producteurs minières en Europe

En Europe, trois mines de tungstène sont en opération actuellement, en Autriche (Mittersill), au Portugal (Panasqueira) et en Espagne (Los Santos). Deux autres mines devraient ouvrir dans les deux prochaines années, au Royaume-Uni (Hemerdon) et en Espagne (Barruecopardo) :

En Autriche

- **Wolfram Bergbau und Hütten GmbH (WBH)** (www.wolfram.at), qui exploite la mine de scheelite de Mittersill, dans les Alpes de Salzbourg, en Autriche. WBH a été racheté en février 2009 par la société suédoise **Sandvik AB** (www.sandvik.com). La mine avait d'abord été exploitée à ciel ouvert puis est passée en exploitation souterraine progressivement entre 1979 et 1985. Elle avait été fermée en 1993 et à ré-ouvert en 1995. Le minerai est transporté par une bande transporteuse souterraine de 3 km vers l'usine de traitement, où le minerai est concentré par

flottation. WBH convertit ensuite ses concentrés en produits intermédiaires (APT, oxyde de tungstène, poudres de tungstène métal et de carbure de tungstène) dans une usine à Sankt Martin, en Styrie, qui traite aussi des concentrés importés.

La production de tungstène issu de la mine de Mittersill et contenu dans les produits commercialisés était estimée à 972 t W pour 2010 (estimation Roskill, 2011).

Au Portugal

- **Sojitz Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S.A.**, filiale à 100 % de la société japonaise **Sojitz Corp** (www.sojitz.com) exploite la mine de wolframite de Panasqueira. Sojitz Corp avait acquis cette exploitation en 2008 par le rachat de la société canadienne Primary Metals, qui était alors la société-mère de Beralt Tin & Wolfram, exploitant de Panasqueira.

La mine de Panasqueira est exploitée en souterrain depuis 1947 en continu, à l'exception d'une fermeture en 1994 suivie d'une réouverture en 1995. Le minerai est concentré sur place par gravité et flottation. L'usine produit des concentrés de wolframite à 70 % et 75 % de WO₃, ainsi qu'un peu de concentrés de cuivre et d'étain. La production est de l'ordre de 10 000 mtu par mois, soit de l'ordre de 1000 t W par an (jusqu'à un maximum de plus de 2 200 t en 1986, et 975 t en 2010).

Le concentré était intégralement acheté par Osram Sylvania (www.sylvania.com), la filiale étatsunienne de la société allemande Osram (www.osram.com), et il était exporté aux États-Unis, aux termes d'un accord d'offtake arrivé à échéance en 2010.

En Espagne

- La société canadienne **Almonty Industries Inc.** (<http://almonty.com>), a finalisé en septembre 2011 l'acquisition de la mine de scheelite de Los Santos, située dans la province de Salamanque, en Espagne, et précédemment détenue par la société australienne Heemskirk Consolidated Ltd (www.heemskirk.com) qui l'avait acquise en 2006 et démarré l'exploitation en 2008.

Juste après cette acquisition, Almonty s'est listée à la bourse de Toronto (TSX-V: All).

La mine de Los Santos produit un concentré de scheelite vendu avec un accord d'offtake valide jusqu'en 2013. Elle a produit 507 t de W contenu dans l'année 2011.

La récupération n'est que de l'ordre de 56 % et des améliorations sont recherchées.

- La société irlandaise **Ormonde Mining plc** (www.ormonde.com) prévoit mettre en exploitation avant fin 2013 la mine de scheelite de Barruecopardo, située aussi dans la province de Salamanque, et qui avait été exploitée à faible profondeur depuis les années 1900 jusqu'en 1982 (exploitations à ciel ouvert, jusqu'à 30 m et localement 80 m de profondeur).

Son étude de faisabilité, conclue début 2012, prévoit produire un concentré de scheelite par gravité puis flottation (élimination des sulfures), avec un taux de

récupération de 78 %. Elle prévoit une production de 1 800 t/an de W contenu pendant 9 ans.

Au Royaume-Uni

- La société australienne **Wolf Minerals Inc.** (www.wolfminerals.com.au), listée à la bourse australienne (ASX-WLF) et au marché des investissements alternatifs de la bourse de Londres (LES-AIM: WLFE) a finalisé une étude de faisabilité pour la remise en exploitation du gisement de tungstène et étain d'Hemerdon, dans le Devon, dans le sud-ouest de l'Angleterre. Ce gisement, découvert en 1867, avait été exploité entre 1919 et 1944 (16 kt de minerai extrait). Des études et travaux de développement avaient été repris entre 1960 et 1985. La société Wolf Minerals a signé un accord d'option et de bail pour 40 ans pour les droits miniers. En mai 2012, elle en était à la phase de bouclage du montage financier, et a conclu des contrats d'off-take avec WBH (Autriche) et Global Tungsten & Powders Corp. (USA). Elle prévoit démarrer l'exploitation en 2014 et produire annuellement 345 000 mtu de concentré de wolframite, soit 2 736 t de W contenu, ainsi que 462 t d'étain, pour une durée de 9 ans. La minéralisation reste ouverte en profondeur, ce qui laisse espérer plusieurs années de durée de vie supplémentaires.

À noter qu'au moins une partie de la presse locale est plutôt favorable à cette reprise envisagée de l'activité minière en soulignant en particulier les 230 emplois créés et les bénéfices attendus (cf. fig. 26).

Tungsten mine step closer with £3m investment

Plans to open a rich tungsten mine in the Westcountry have taken a step closer to reality.

Wolf Minerals Ltd, which will operate the mine at Hemerdon on the outskirts of Plymouth, has announced that it has secured an extra £3 million investment from two major shareholders.

Wolf, an Australian mining company, needs to raise £110 million to begin exploitation of what is the world's fourth-largest deposit of tungsten.

The latest investment of 5 million Australian dollars brings the total to about £78 million.

Work is already under way on building a link road to the site, east of Plympton, and is expected to be finished next month.

UK operations manager Jeff Harrison said: "We are still in the fundraising state. We are trying to get ourselves in a position where as soon as the money is raised we can start making things happen. We have gone out to tender for companies to construct the processing and earth-moving plant.

"Raising money takes time at the moment. We need all the money in place before we can begin to do anything on the ground."

'We need all the money in place before we can begin'

Jeff Harrison, Wolf Minerals Ltd

In March, Wolf received credit approval for £55 million from three major banks to push ahead with the project. Then, in April, it signed a deal with two customers to sell most of its production – in return, the companies agreed to lend it £20 million.

Although Hemerdon has one of the largest tungsten and tin deposits in the world, it has been out of operation for most of the time since 1944.

Construction of a 600-metre link road between Lee Moor Road and West Park Hill in Plympton is a condition of the 1986 planning approval for mining at the site.

Hemerdon will be an open-cast mine, involving a pit measuring 800 metres by 500 metres by 200 metres, with waste material dumped north of the pit on Crownhill Down, next to the Imerys china clay operations.

Wolf expects the mine to employ 150 to 200 people during construction, and 230 when it reaches full-scale production. It is expected to generate returns of between £65 million and £74 million a year, with the company eyeing a profit margin of 20 per cent.

Tungsten is used in a range of applications, from the car industry through to the aerospace sector.

The latest investment agreement, reported to the Australian Stock Exchange, was with shareholders Resource Capital Fund V and Traxys Projects LP.

Figure 26 - Article paru dans le Western Morning News (Devon), journal local du Devon, le 11 juin 2012

6.2. LES PRINCIPAUX TRANSFORMATEURS, FABRICANTS DE PRODUITS INTERMÉDIAIRES ET RECYCLEURS DE TUNGSTÈNE

Nombre de producteurs miniers sont intégrés sur au moins une étape en aval et produisent directement des produits intermédiaires tels que l'APT, le carbure de tungstène, les oxydes de tungstène, le ferrotungstène ou le tungstène métallique

(comme les producteurs chinois ou WBH en Autriche, cf. 6.1), mais d'autres vendent des concentrés à des transformateurs tiers, souvent avec des contrats d'off-take.

Les fabricants de produits intermédiaires de tungstène sont nombreux et largement répartis dans le monde. Ils peuvent utiliser comme matière première des concentrés miniers, ou des produits intermédiaires tels que l'APT ou les oxydes de tungstène, qui sont les principaux produits tungstifères échangés, ou des scraps de tungstène.

6.2.1. En France

La France n'extrait plus de tungstène de son sous-sol, malgré des ressources potentielles encore significatives, et elle n'importe pratiquement plus de concentrés de wolframite ou de scheelite (cf. Chap.7 et Tab.15). Elle a quelques entreprises de transformation à partir de produits intermédiaires. Elle s'approvisionne en matières premières essentiellement sous forme d'APT (« tungstates » dans la nomenclature douanière), d'oxydes et de ferrotungstène, surtout en provenance de Chine, pour transformation par les entreprises françaises. Elle importe aussi des poudres de tungstène et des carbures de tungstène, particulièrement d'Autriche, mais aussi d'Allemagne et de Chine (Tab.15).

Eurotungstène (www.eurotungstene.fr), basée à Grenoble (38), est une filiale du groupe minier et métallurgique français **Eramet** (www.eramet.fr), fabrique des poudres de tungstène, de cobalt, de carbure de tungstène, et des poudres pré-alliées, à partir de matières premières importées (oxydes de tungstène importés principalement de Chine), et destinées aux outils de coupe diamantés et aux carbures cémentés. Eurotungstène produit aussi du rhénium. Eurotungstène réalise un chiffre d'affaires de 35 à 50 M€ selon les années, dont 95 % à l'export, partie qui se partage en 65 % vers l'Europe, 20 % vers l'Asie, 10 % vers l'Amérique et 5 % dans le reste du monde. Selon Eurotungstène, elle détiendrait 35 % des parts de marché mondial des carbures pour l'industrie des outils diamantés et 75 % des ventes mondiales des poudres pré-alliées.

Erasteel SAS (www.erasteel.fr), filiale de la branche alliages d'Eramet, produit entre autres des aciers rapides au tungstène. Elle a des sites de production à Commentry (03) et à Champagnolles (39), mais aussi aux États-Unis, en Chine, en Suède et au Royaume-Uni.

Plansee Tungsten Alloys est le nouveau nom, depuis 2008, de l'ancienne société française **Cime Bocuze**, basée à Saint-Pierre-de-Faucigny (74), qui avait été fondée en 1884 puis rachetée par le groupe autrichien **Plansee** (www.plansee.com) en 1999. Cette société traite du tungstène dans une usine à La Roche-sur-Foron (74) et produit des poudres de tungstène, de molybdène et d'alliages destinées à la métallurgie des poudres pour la production de barres, filaments, feuilles et pièces usinées. Elle produit aussi des alliages tungstène-rhénium pour des thermocouples.

Technogenia S.A. (www.technogenia.fr), basée à Saint-Jorioz (74), fondé en 1979, produit de la poudre de tungstène et des carbures de tungstène. Technogenia a mis au point un système breveté de fusion du carbure de tungstène par induction en "creuset froid" qui lui permet d'obtenir des billes de carbures de tungstène particulièrement

dures, commercialisées sous le nom de Sphérotène®, incorporés par exemple dans des produits de revêtements de surface très durs.

Hexametal (42140 Chazelles-sur-Lyon, www.hexametal.com) produit des pièces pré-formées en carbure cémenté (carbure de tungstène dans un liant de cobalt), en ébauches pour applications variées : pièces résistant à l'abrasion, pièces de découpe et de poinçonnage, pièces de frappe, ou nuances à la demande pour utilisations spécifiques.



Figure 27 - Pièces pré-formées en carbure de tungstène de la société Hexametal
(© www.hexametal.fr)

Aérométal (71590 Gergy, www.aerometal.fr) récupère des scraps d'alliages et superalliages à nickel, chrome, cobalt, molybdène, tungstène, titane et zirconium, en particulier les chutes de fabrication, et les trie, les prépare et les conditionne pour les métallurgistes.

6.2.2. Dans le reste de l'Europe

En Allemagne

Element Six Hard Materials / Element Six GmbH, basée à Burghaun, en Hesse, est la branche « Hard Materials » de la société **Element Six** (www.e6.com), filiale du groupe britannique **De Beers** (www.debeersgroup.com). Element Six Hard Material est issu de l'acquisition en 2007 par Element 6 de Barat Carbide, qui était lui-même issu de la Division Hardmaterials and Soft Rock Tools de Boart Longyear. Element Six Hard Materials produit environ 1 500 t par an de carbure de tungstène et une très vaste gamme de pièces et outils en carbure de tungstène, des couronnes de sondage, des outils de coupe, des pièces d'usure, des pièces de broyeurs (anneaux, plateaux, etc.). Elle dispose de 3 sites de production, en Allemagne (Burghaun), en Chine et en Afrique du Sud.

H.C.Starck (www.hcstarck.com), basée à Munich, en Bavière, produit diverses poudres de métaux réfractaires (W, Mo, Ta, Nb, Re) et de leurs composés (carbures,

nitrides, borures, etc.). Elle dispose de 14 sites de production répartis en Allemagne, au Royaume-Uni, aux États-Unis et en Asie (Chine, Japon, Thaïlande). Les usines allemandes de Goslar et de Laufenberg produisent des poudres de tungstène et divers composés de tungstène (carbure, borure, siliciure, oxyde, etc.)

Durum Verschleiss-Schutz GmbH, (www.durum.de), basée à Willich (Rhénanie-du-Nord-Westphalie) produit toute une gamme d'aciers spéciaux dont des aciers au tungstène, et diverses formes de carbure de tungstène et de carbures cémentés (poudres, plaques d'usure, fils, alliages de durcissage de surface, ...).

Louis Renner GmbH (www.renner-powder.de), basé à Dachau (Bavière), produit des fils et poudres de tungstène.

En Autriche

Plansee Group (www.plansee.com), basée à Reutte, au Tyrol, est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de produits métallurgiques en poudre, avec un chiffre d'affaires de 1,2 G€, réalisé pour 50 % des ventes en Europe, 31 % en Amérique et 19 % en Asie. Elle emploie 6 700 personnes.

Sa division « Plansee - High Performance Materials » produit du tungstène métal pur et divers alliages spéciaux de tungstène (alliages tungstène-rhénium, alliages de tungstène dopés au lanthane, cérium, thorium, etc.). Elle dispose de 12 sites de production dans le monde (3 aux USA, 2 au Japon, 1 en Inde et 6 en Europe dont un en France, à Saint-Pierre-de-Faucigny, l'ancienne Cime-Bocuze (cf. 6.2.1). Plansee détient aussi 100 % de Global Tungsten and Powders (GTP), acheté à Osram en 2008.

Plansee détient aussi 50 % de Ceratizit (www.ceratizit.com), basée au Luxembourg, créée en 2002 par la fusion de Cerametal (Luxembourg) et de la branche Plansee Tizit de Plansee.

Treibacher Industrie AG (www.treibacher.com), basée à Althofen, en Carinthie, produit divers métaux et matériaux de spécialité avec 4 divisions (Business Units) : Matériaux céramiques avancés, Métaux durs et stockage d'énergie, Terres Rares et produits chimiques, et Aciers et produits de fonderie.

Treibacher est un producteur majeur de produits intermédiaires au tungstène, poudre de tungstène, carbure de tungstène, oxydes de tungstène, dont une partie utilisée en interne pour des céramiques spécialisées et autres matériaux. Elle a 5 sites de production, en Autriche (Althof), au Canada, en Chine, au Japon et en Slovénie.

Wolfram Bergbau und Hütten GmbH (WBH) (www.wolfram.at), déjà cité comme producteur minier (cf. 6.1), filiale du suédois Sandvik AB, qui exploite la mine de scheelite de Mittersill (Salzbourg, Autriche.), produit de l'APT, des oxydes de tungstène, des poudres de tungstène métal et de carbure de tungstène dans son usine de Sankt Martin (Styrie) à partir des concentrés de Mittersill et de concentrés importés.

En Belgique

Le site belge de la société suédoise **Höganäs AB** (www.hoganas.com), à Ath, produit diverses poudres métalliques dont de la poudre de tungstène.

Le site belge de **Philips Lighting Components** (www.lighting.philips.com), la branche composants d'éclairage de **Philips**, à Turnhout, produit des filaments de tungstène pour Philips et des sociétés tierces.

Au Luxembourg

Ceratizit (www.ceratizit.com), filiale à 50 % de Plansee (cf. plus haut), basée à Mamer, au Luxembourg, produit des matériaux durs pour la fabrication d'outils de coupe (perçage, fraisage, tournage) et de pièces d'usure, en particulier au carbure de tungstène. Elle produit du carbure de tungstène dans son usine de Langfang, en Chine.

En octobre 2010 elle a fusionné ses activités asiatiques avec la société taiwanaise CB Carbide sous une nouvelle holding, CB-Ceratizit.

Aux Pays-Bas

Philips Lighting Components (www.lighting.philips.com), la branche composants d'éclairage de **Philips**, produit divers articles en tungstène et en molybdène, dont des filaments et électrodes de tungstène et de mais aussi d'autres produits pour usage interne et vente externe. Elle a 4 sites de production, dont deux aux Pays-Bas (Maarheze et Deurne), un en Belgique (Turnhout) et un en Pologne (Pila).

Au Royaume-Uni

A & M Tungsten Products, basé à Hemel Hempstead, dans le Hertfordshire, est une filiale d'A & M Group. Elle y produit de la poudre de tungstène par réduction d'oxyde par l'hydrogène.

ATI Garryson, basé à Sheffield, est une filiale de la société étatsunienne ATI Metalworking Products (www.atimetals.com). Elle produit des fraises et des abrasifs en carbure de tungstène (cf. 6.2.3).

Wolfmet (www.wolfmet.com), basée à Manchester, est une filiale de la société étatsunienne M&I Materials Group. Wolfmet produit surtout des alliages lourds à 90 à 97 % de tungstène pour l'industrie aérospatiale (masses d'équilibrage, par exemple pour les pales et gouvernes d'hélicoptère), des atténuateurs de vibration (par exemple dans des voitures de haute performance, pour le sport automobile), des protections antiradiations. Elle a une usine à Manchester (Angleterre) et une à Rochester (New-York, USA).

Tungsten Alloys Mfg Ltd (www.tungsten-alloys.co.uk), basé à Leighton Buzzard, est une filiale de la société étatsunienne ABS Group. Elle produit des alliages lourds à 90 à 97 % de tungstène. Elle commercialise aussi des poudres de tungstène et de carbure de tungstène.

En Suède

Sandvik AB (www.sandvik.com), basé à Sandviken, au nord de Stockholm, est un producteur majeur d'outils de coupe et de système d'outils pour l'industrie des métaux, pour l'industrie minière et le génie civil. Sandvik est présent dans 130 pays – dont une implantation en France à Orléans-la-Source, voisine du BRGM –, emploie 50 000 personnes, et son chiffre d'affaires 2011 a été de 94 G SEK (environ 10,5 G€). Sandvik se compose de 3 « business units », Outillage (y inclus les filiales Sandvik Coromant et Sandvik Hard Materials, qui fabriquent des outils, pièces et composants en carbure de tungstène), Mine et construction (qui fabrique des équipements miniers, de carrière, de génie civil), et Technologie des matériaux, qui développe des produits en aciers spéciaux, aciers inox, résistances chauffantes, etc.

Sandvik a pris le contrôle en 2009 du producteur minier autrichien Wolfram Bergbau und Hütte.

En Tchéquie

Global Tungsten and Powders (www.globaltungsten.com), désormais filiale de Plansee (cf. plus haut) produit de l'APT, de l'AMT⁹, des oxydes de tungstène, des poudres de tungstène et de carbure de tungstène dans son usine de Bruntál (Tchéquie) et de Towanda (Pennsylvanie, USA). Elle produit aussi des poudres de molybdène et des pièces de coupe au molybdène et au tungstène, et recycle des scraps au tungstène.

6.2.3. Dans les Amériques :

Aux États-Unis

American Elements (www.americanelements.com), basée à Los Angeles (Californie), produit et commercialise divers métaux et composés de très haute pureté pour des applications de haute technologie et de recherche. Il dispose d'usines aux États-Unis, au Mexique et en Chine. Son catalogue contient près de deux cents références de tungstène (métal de différentes formes et puretés, composés minéraux et composés organiques).

ATI Metalworking Products (www.atimetals.com), basée à Madison (Alabama), est spécialisée dans la production de tungstène, de carbures cémentés, et d'alliages lourds au tungstène, pour fournir les industries aéronautiques, pétrolières, médicales, et de

⁹ AMT = Métatungstate d'ammonium. Cf. Tab.4.

production électrique. Elle fabrique aussi des outils de coupe. Elle est structurée en plusieurs filiales (ATI Alldyne, ATI Firth Serling, ATI Garryson, ATI Landis Threading et ATI Sellram) et dispose de plusieurs usines en Alabama, dans le Tennessee, au Texas, mais aussi au Royaume-Uni et en Suisse. Elle utilise des concentrés de minerai et des scraps, qui sont transformés en APT puis dans les produits finaux.

Buffalo Tungsten Inc. (www.buffalotungsten.com), basée à Depew (New-York), produit des poudres de tungstène et de carbure de tungstène à partir d'APT.

Elmet Technologies Ltd (www.elmettechnologies.com), basée à Lewiston (Maine), produit des pièces en tungstène et en molybdène (filaments pour lampes, feuilles, barres, pièces formées).

General Electric Lighting (www.gelighting.com), la division éclairage de General Electric (www.ge.com), basée à Fairfield (Connecticut), fabrique du tungstène métal, de la poudre et des filaments de tungstène pour les ampoules d'éclairage, dans deux usines dans l'Ohio et dans une filiale en Hongrie.

H.C.Starck (www.hcstarck.com) est une société allemande (cf. 6.2.2) qui a aussi des usines aux États-Unis (Ohio, Michigan, New Jersey) qui fabrique de la poudre de tungstène et des tôles, feuilles et films de tungstène.

Hi-Temp Specialty Metals Inc. (www.hi-tempmetals.com), basée à Yaphank (New York) est spécialisé dans la production de métaux réfractaires, tantale, molybdène et tungstène, sous diverses formes et composés.

Hogen Industries Inc. (www.hogenindustries.com), basée à Indianapolis (Indiana) produit des alliages de tungstène et des carbures cémentés et autres composites.

Hydro Carbide Inc. (www.hydrocarbide.com), basée à Latrobe (Pennsylvanie) produit du carbure de tungstène et des carbures cémentés à Latrobe et des outils finis en carbures cémentés à Gulfport (Massachusetts).

Inframat Corp. (www.inframat.com), basée à Manchester (Connecticut), développe et produit divers nanomatériaux pour revêtements, dont des poudres ultrafines de carbure de tungstène (au catalogue, gamme de granulométries de 40 à 600 nm) et d'oxydes de tungstène (au catalogue, gamme de granulométries de 40 à 80 nm).

Kennametal Inc. (www.kennametal.com), basée à Latrobe (Pennsylvanie), fabrique des outils de coupe et des carbures cémentés en particulier pour l'industrie minière.

Martin Alloys Corp (www.martin alloys.com), basée à Linden (New Jersey), recycle des scraps tungstifères depuis 1975. Cette société rachète et traite tous types de carbures de tungstène et carbures cémentés (outils en fin de vie, mais aussi rebuts de fabrication, poudres et copeaux, boues), des pièces et déchets de tungstène métallique, des alliages au tungstène, des aciers rapides au tungstène, etc.

Mi-Tech Metals (www.mi-techmetals.com), basée à Indianapolis (Indiana), produit et commercialise divers alliages et composites de tungstène.

North Metal and Chemical Company (www.nmc-nic.com), basée à York (Pennsylvanie), produit et commercialise une gamme de composés chimiques dont des tungstates et molybdates de sodium.

Osram Sylvania Products Inc. (www.sylvania.com), basée à Danvers (Massachusetts), est une filiale étatsunienne de la société allemande Osram (www.osram.com). Elle produit de nombreux types de composants d'éclairage (résidentiel, public, automobile, etc.) et fabrique toute une gamme de produits tungstifères (APT, AMT, tungstate de sodium, oxydes de tungstène, poudres de tungstène et de carbure de tungstène, pièces et filaments en tungstène, à partir de concentrés de wolframite et de scheelite.

Phelly Materials Inc. (www.phelly.com), basée à Bergenfield (New-Jersey), produit et commercialise divers types de matériaux pour revêtements techniques dont des poudres de carbures cémentés. Elle propose aussi à son catalogue diverses formes de tungstène à 99,95 % pour des contacts électroniques.

Stalloy Metals, basée à Cleveland (Ohio), recycle des scraps de carbure de tungstène.

Tundra Composites LLC, basée à White Bear Lake (Minnesota), produirait de l'APT et de la poudre de tungstène ainsi que du bismuth, en utilisant des concentrés pauvres de la mine canadienne de Cantung. Mais Tundra n'a pas de site Internet et ne communique pas sur sa production.

Tungsten Heavy Powder Inc. (www.tungstenheavypowder.com), basée à San Diego (Californie), produit des poudres de tungstène de haute densité, en particulier pour la fabrication de composites de haute densité avec polymères pour la substitution du plomb, toxique, dans des équipements de radioprotection et pour les munitions. La société produit aussi du tungstène sous forme de barres, sphères, billes etc.

Au Canada

En plus du producteur minier de tungstène cité dans le tableau 7, North American Tungsten Corp. (www.natungsten.com), et des sociétés qui cherchent à relancer d'anciennes mines ou développer de nouveaux gisements citées dans le tableau 8, il existe quelques transformateurs et producteurs de produits intermédiaires.

H.C.Starck Canada Inc., filiale de la société allemande H.C.Starck (www.hcstarck.com) (cf. 6.2.2), a une usine à Sarnia (Ontario) qui fabrique des poudres de tungstène et de carbure de tungstène.

La société étatsunienne **Kennametal Inc.** (www.kennametal.com) a une usine de poudres métallurgiques à Victoria (Colombie-Britannique), qui produit des poudres de tungstène et de carbure de tungstène ainsi que du tungstène métallique.

Au Mexique

Brainin de Mexico, filiale de PEP-Brainin (www.pepbrainin.com), une division de la société étatsunienne Precision Engineered Products (www.pepcorp.com) basée à Attleboro (Massachusetts), produit du tungstène et des carbures cimentés dans une usine à Naucalpan, près de Mexico.

En Bolivie

Les concentrés de tungstène des petites exploitations boliviennes sont essentiellement exportés aux États-Unis, il n'y a pas de transformation sur place.

6.2.4. En Asie

En Chine

Jusqu'en 1980, la Chine exportait surtout des concentrés de wolframite et de scheelite bruts. Le Gouvernement a alors encouragé la valorisation sur place des minerais et la transformation en produits intermédiaires et en produits finis. La part des concentrés dans les exportations de produits tungstifères est ainsi passée de plus de 95 % en 1979 à moins de 5 % en 1995 puis à 0 % en 2000, les exportations se faisant désormais sous forme de produits intermédiaires (APT, oxydes, poudres de tungstène et de carbure de tungstène, ferrotungstène, 3/4 des exportations pour la période 2006-2010) et de plus en plus sous forme de produits finis (1/4 des exportations pour la période 2006-2010) (source : Roskill, 2011, d'après CTIA et Global Trade Atlas)

Roskill (2011) liste une douzaine de sociétés chinoises d'extraction, de traitement et de production de tungstène et produits intermédiaires, principalement des sociétés détenues par l'État ou des provinces.

La société d'État **China Minmetals Corp.** (www.minmetals.com) est très présente dans l'industrie du tungstène en Chine, presque entièrement à travers sa filiale à 82,23% **China Minmetals Nonferrous Metals Co Ltd (CMN)** (<http://cmnltd.minmetals.com.cn/english.do>). Elle contrôlerait environ 40 % des exportations chinoises de tungstène. CMN détient, dans l'industrie du tungstène, la majorité de Jiangxi Tungsten Industry Group Co Ltd (51 %), Jiangxi Xiushui Xianglushan Tungsten LLC, Nanchang Cemented Carbide LLC, Minxia Nonferrous Metals Inc., Minmetals Ganzhou Tungsten Co. Ltd, et de nombre d'autres filiales impliquées dans d'autres métaux. Elle détient aussi des participations Xiamen Tungsten Co, et Three Hong Tungsten Co.

CMN produit des concentrés de tungstène, de l'APT, des oxydes de tungstène, du carbure de tungstène et des carbures cimentés.

Jiangxi Tungsten Industry Group (www.jwvx.com.cn) est une JV China Minmetals Nonferrous Metals (51 %) – SASAC of Jiangxi (49 %) ¹⁰. Ce groupe opère, à travers des filiales dédiées contrôlées à 100 %, huit mines de tungstène (Dajishan, Dangping, Pangushan, Piaotang, Tieshanlong, Xialong, Xiaolong, Xihuashan, cf. Tab.7), deux usines de transformation en produits intermédiaires et tungstène (Ganzhou Huaxing Tungsten Products et Ganzhou Huamao Tungsten Materials, une fonderie de ferrotungstène, et des filiales de commercialisation intérieure et d'import-export.

Les capacités totales du groupe affichées sont de 13 kt/an de concentrés de scheelite et de wolframite et 22 kt/an de produits tungstifères (APT, AMT, oxydes, poudres de tungstène et de carbure de tungstène, ferrotungstène et barres de tungstène métal.

Jiangxi Xianglushan Tungsten Co Ltd (ou Jiangxi Xiushui Xianglushan Tungsten Co Ltd) est une autre filiale majoritaire de China minmetals (www.minmetals.com). Elle opère l'une des plus grosses mines de scheelite de Chine, la mine de Xianglushan (Jiangxi), dont les réserves seraient de 22,7 Mt de minerai contenant 142 kt de tungstène (Research in China, 2011, et Roskill, 2011), soit une teneur moyenne de 0,79 % WO₃.

Jiangxi Yaosheng Industry and Trade Development Co (<http://en.w.jx.cn>) opère 4 mines de tungstène (dont Maoping, Xikeng et Changlong), 5 projets d'exploration, une usine de concentration et transformation à Jinglong et une usine de poudre à Yaosheng. Ses capacités affichées sont de 3 kt/an de concentré, 10 kt/an d'APT, 6 kt/an d'oxyde bleu, 3 kt/an de poudre de tungstène, et 2,5 kt/an de carbure de tungstène ¹¹.

Xiamen Tungsten Co Ltd (XTC) (www.cxtc.com, en chinois seulement), basée à Xiamen (Fujian), est une société cotée à la bourse de Shanghai (SSE: XTC) mais dont l'actionnaire majoritaire est la société d'État China Minmetals. C'est une société intégrée de la mine aux produits intermédiaires et semi-finis. Elle opère 2 mines de tungstène, 2 unités de production de tungstène métal, une usine de production de carbure de tungstène et quatre filiales de production de filaments de tungstène et de molybdène ¹².

¹⁰ SASAC : State-owned Assets Supervision & Administration Commission

¹¹ Ces capacités, relevées en juin 2012 sur le site Internet de la société, sont en augmentation par rapport à celles relevées par Roskill avant octobre 2011. On remarquera que la société affiche des capacités de production de produits intermédiaires largement supérieures à ce que devrait permettre en théorie la transformation de la capacité de production de concentré, d'où devraient être issus tous les autres produits. L'une des hypothèses d'explication possibles serait que les 3 kt de concentré (qui contiennent probablement moins de 2 kt de W) correspondraient aux produits des mines de la société, et que les usines de transformation traiteraient aussi des concentrés en provenance de mines tierces. D'autres hypothèses peuvent inclure le fait que les chiffres affichés ne sont pas forcément certifiés, ainsi peut-être même que des problèmes de traduction sur la version en anglais du site.

¹² Malgré son importance sur le marché du tungstène et sa cotation en bourse, Xiamen Tungsten Co Ltd ne communique pas d'informations techniques ou de production directement. Même le nom et la localisation de ses mines ne sont pas communiqués, ni la localisation de ses usines. Seules des indications de production de concentré sont publiées par Research in China (www.researchinchina.com) et reprises par Roskill (2011).

La capacité totale de XTC serait de 12 kt/an de tungstène (source : Research in China, 2010), ce qui en ferait la plus grosse capacité mondiale. Sa production minière réelle serait passée de 3,1 kt de concentré en 2007 à 6,6 kt en 2010, soit, en tungstène contenu, de 1,6 kt W en 2007 à 3,4 kt en 2010. Toujours d'après Research in China (2010), se référant à XTC, sa production de concentré devait passer à 8,0 kt en 2011 et 9,1 kt en 2012, soit respectivement à 4,1 kt et 4,7 kt de W contenu.

La croissance de XTC serait limitée par les quotas imposés par le gouvernement, et XTC aurait « emprunté » des quotas à China Minmetals (Research in China, 2010). En mai 2011, XTC a annoncé un investissement de 600 MUS\$ pour développer ses ressources et ses capacités, et monté une JV 70 % XTC – 30 % China Minmetals pour construire une usine de poudre de tungstène d'une capacité de 6 kt/an et de carbures cimentés de 4 kt/an à partir de 2013, à Jiujiang, dans le Jiangxi (Roskill, 2011).

Hunan Nonferrous Metals Holding Group (HNG) (www.hng.com) est un des plus gros producteurs chinois de métaux non-ferreux (hors aluminium). Elle est cotée à la bourse de Hong Kong mais est détenue à 51 % par China Minmetals. HNG est le premier producteur chinois d'antimoine, de zinc et de carbures cimentés, et un producteur majeur de plomb, argent, indium, tantale et niobium. HNG opère entre autres les deux mines de tungstène de Shizhuyuan et Yaogangxian, dans le Hunan, dont les ressources se monteraient à 570 Mt de minerai contenant plus de 1 Mt de W, les plus importantes ressources mondiales (cf. 4.2.1). HNG possède plusieurs filiales, dont **Zhouzhou Cemented Carbide**, dans le Hunan, qui est le plus gros producteur chinois de carbures cimentés, et **Zigong Cemented Carbide**, qui produit des carbures cimentés dans le Sichuan.

Guangdong Rising Nonferrous Metals Group (www.gdnmi.com.cn) est une entreprise d'État qui contrôle 5 mines de tungstène dans le Guangdong, dont les plus importantes sont Shirenzhang et Yaoling (cf. tab.7). Elle exploite aussi des Terres Rares et produit un peu d'étain et de cuivre.

Dayu Weiliang Tungsten Co Ltd est une société privée qui exploite la mine de tungstène de Quannan, dans le sud-Ouest du Jiangxi, et produit de l'APT, de l'AMT, des oxydes de tungstène, des tungstates, des poudres de tungstène et de carbure de tungstène, et des barres de tungstène et de molybdène, dans une fonderie à Dayu (SO du Jiangxi) et des usines à Wanan (Jiangxi) et Nanxiong (Guangdong).

Hunan Chenzhou Mining Group (www.hncmi.com, en chinois seulement, quelques informations sur www.znat.com.cn) posséderait une vingtaine d'exploitations d'or, antimoine et tungstène, et 4 usines dont une de produits de tungstène. Elle produit entre autres de l'APT.

Changsha Mingguan Metal Technology Co Ltd (www.tungstenmoly.com), basée à Changsha, (Hunan), est une société de transformation qui produit du tungstène et du molybdène métal (80 t/an), des alliages lourds au tungstène (150 t/an), des carbures de tungstène (30 t/an) et des carbures cimentés au cuivre (50 t/an) sous forme de pièces variées (barres, feuilles, pièces formées ou usinées, électrodes, etc.).

Siping Huanqiu Tungsten and Molybdenum, basée à Siping (Jilin), est citée comme partenaire du japonais Nippon Tungsten Company Ltd. Ne publie pas directement d'information, mais produirait des filaments de tungstène, des contacts en tungstène ainsi que des barres de tungstène pur (source : <http://ccne.mofcom.gov.cn>).

En Inde

L'Inde détiendrait environ 140 kt de ressources en tungstène, majoritairement au Rajahstan et secondairement en Andhra Pradesh. Toutefois il semble qu'il n'y ait plus de mines en exploitation depuis la fermeture de la mine de Degana (Rajahstan) en 1997.

Sandvik Asia SAL, basée à Pune (Maharashtra), est une filiale majoritaire du suédois Sandvik AB. Elle dispose d'une unité de fabrication de carbure de tungstène d'une capacité de 250 t/an à Pune, et a ouvert en 2006 une unité de recyclage de carbures cémentés à Chiplun (Maharashtra), d'une capacité de 600 t/an (Roskill, 2011) d'où sont récupérés cobalt et tungstène.

Robot Mining Equipment (P) Ltd (www.rfplcarbide.com), basée à Delhi, fabrique et commercialise des outils de forage et de coupe en carbures de tungstène et de tantale, ainsi que des pièces usinées en tungstène, molybdène, tantale et niobium. Elle recycle des scraps de tungstène et de carbures.

En Israël

Metal-Tech (www.metal-tech.co.il), basé à Beer-Sheva, recycle divers métaux à partir des déchets miniers, des déchets et scraps divers, de catalyseurs usages, et produit entre autres des poudres de tungstène, de carbure de tungstène et de l'oxyde de tungstène dans son usine de Ramat Hovav (Beer Sheva).

Au Japon

Les deux dernières mines de tungstène au Japon, Mikawa et Kiwada, dans la préfecture de Yamaguchi, ont fermé en 1993.

Le Japon produit de la poudre de tungstène, avec une production qui a culminé à 5 046 t en 2000 et a décliné progressivement jusqu'à 3 393 t en 2010 – avec un creux exceptionnel à 1 422 t en 2009 après la crise de 2008 (Roskill, 2011). Le Japon produit aussi 400 à 600 t de produits manufacturés en tungstène pour l'industrie.

Les principaux producteurs sont :

ALMT Corp (www.allied-material.co.jp) est une filiale de Sumitomo Electric Industries. Elle produit du tungstène métallique, des poudres de carbure de tungstène, ainsi que des pièces en tungstène et en molybdène, dans une usine à Toyama. Elle utilise de l'APT ainsi que du carbure de tungstène importés, et a pris une participation dans Xiamen Tungsten Co Ltd (Chine, voir plus haut) pour sécuriser son approvisionnement en APT.

Japan New Metals Company (www.jnm.co.jp), détenu par Mitsubishi Materials et Ryoko Sangyo Corp., est le seul producteur japonais d'APT et est un producteur majeur de poudres métallurgiques, en particulier de tungstène et de molybdène, Elle produit aussi des carbures, borures, nitrures et siliciures de tungstène, mais aussi de molybdène, zirconium, hafnium, niobium, tantale, lanthane, titane, vanadium et chrome. Son usine d'Osaka a une capacité de 2,88 kt/an de poudre de tungstène, et sa nouvelle usine d'Akita une capacité de 1,2 kt/an d'APT. Jusqu'en 2005, cette société importait du concentré de scheelite de Russie, et importerait désormais essentiellement des concentrés et de l'APT de Chine.

Nippon Tungsten Company Ltd (www.nittan.co.jp) produit de la poudre de tungstène, des filaments de tungstène et des alliages W-Cu et W-Ag dans une usine à Iizuka, Fukuoka, et des carbures cémentés, céramiques et des matériaux pour composants électroniques dans une usine à Kiyama. Elle a deux JV en Chine avec Siping Huanqiu Tungsten and Molybdenum.

Toho Kinzoku Company Ltd (www.tohokinzoku.co.jp) produit du tungstène et du molybdène dans une usine à Moji (capacité de 120 t/an Mo et 36 t/an W) et du tungstène, des alliages de tungstène et des carbures cémentés à Neyagawa (capacités de 5 t/an de tungstène, 36 t/an d'alliages et 24 t/an de carbures). Elle produit des fils, tiges et feuilles de tungstène ainsi que des produits finis.

Toshiba Materials Company Ltd (www.toshiba-tmat.co.jp), filiale de Toshiba, produit divers métaux purs, alliages, céramiques, aimants, poudres phosphorescentes, et produit entre autres des poudres, filaments, tiges et pièces usinées de tungstène et de molybdène, des alliages lourds de tungstène, des fils de tungstène-rhénium, de tungstène thorié et de tungstène dopé.

Tokusai Tungmoly Company Ltd (www.tokusai.co.jp), affiliée à Toshiba Materials Company, produit des filaments, barres, aiguilles et rubans de tungstène et de molybdène à Nagaoka.

Tungaloy Corporation (www.tungaloy.co.jp) produit des outils de coupe et de perçage et des pièces de friction et d'usure en carbure de tungstène ainsi que des machines-outils dans trois usines, à Iwaki, Nirasaki et Nagoya. Elle a ouvert des filiales dans de nombreux pays (Chine, Thaïlande, Vietnam, USA, Europe) et une antenne en France, Tungaloy France SARL, à Marmagne (18), à côté de Bourges.

Central Glass Co Ltd (www.cgc-jp.com) est surtout un fabricant de verres (verres architecturaux, automobiles, etc.) mais produit aussi divers produits chimiques dont de l'hexafluorure de tungstène (WF₆) utilisé entre autres pour déposer des filaments semi-conducteurs enchâssés dans les verres.

En Corée du Sud

TaeguTec (www.taegutec.com), basée à Taegu, produit des poudres et tiges de tungstène et de carbure de tungstène, des pièces formées et usinées en carbures cémentés, ainsi que des outils de coupe, de perçage, de broyage industriels, etc. en

carbure de tungstène (pour constructions navales, ferroviaires, éoliennes, etc.). Taegutec est représenté en France par Ingersoll Taegutec France SARL à Champs-sur-Marne (77).

À Taiwan

CB Carbide / CB-Ceratizit (www.cbcarbide.com). CB Carbide était une société taïwanaise fondée en 1973 à Taipei qui produit du carbure de tungstène et des carbures cémentés, et des pièces d'usures, outils de coupe en carbure de tungstène dans 8 usines à Taïwan et en Chine, et 13 unités de commercialisation dans le monde. En octobre 2010, CB Carbide et Ceratizit (Luxembourg, cf. 6.2.2) ont fusionné leurs activités asiatiques (Inde excepté) et créé une nouvelle société holding, CB-Ceratizit, co-basée à New Taipei City à Taiwan et à Mamer au Luxembourg.

Au Vietnam

Youngsun Tungsten Industry Co, fondé en 2006, produit du ferrotungstène à Halong. La production n'est pas publiée. Elle produirait aussi du tungstène métal, du molybdène et du tantale.

6.2.5. En CEI

En Russie

Wolfram Company CJSC (www.wolframcompany.ru), basée à Moscou, a été fondée en 1997.

Elle contrôle deux sociétés minières ou de traitement, JSC Tyrnyauz Mining and Ore-Dressing Plant, à Tyrnyauz (Kabardino-Balkarie, dans le Caucase), qui cherche à relancer l'exploitation du gisement de scheelite et molybdène de Tyrnyauz, fermé en 2002, et CJSC Buryat Wolfram, qui développe une mine de tungstène à Zakamensk, en Bouriatie.

Wolfram Company possède aussi deux sociétés de transformation. L'une est JSC **Hydrometallurg**, acquise en 2005-2006, qui produit de l'APT et de l'oxyde jaune de tungstène à Naltchik (Kabardino-Balkarie, dans le Caucase), d'une capacité de 6 kt/an de WO₃ contenu (WO₃ et APT), mais qui produit en sous-capacité (1,4 kt WO₃ contenu en 2010), à partir de concentrés de wolframite et de scheelite auprès des producteurs miniers russes. Wolfram Company faisait du lobbying auprès du gouvernement russe pour faire baisser les taxes d'importation de concentrés pour pouvoir se fournir à l'étranger. Wolfram Company contrôle aussi **JSC Pobedit**, qui produit du tungstène métallique (poudre, tôles et pièces, ainsi que du carbure de tungstène, dans une usine à Vladikavkaz, en Ossétie du Nord. Elle produirait environ 700 à 800 t/an de tungstène, mais fonctionne en sous-capacité par insuffisance de produits intermédiaires fournis par Hydrometallurg.

Wolfram Company a aussi construit en 2006-2010 une nouvelle usine de production d'alliages durs à Unecha (Oblast de Briansk).

Kirovgrad Hard Alloys Plant (www.kzts.ru), basé à Kirovgrad, Oblast de Sverdlovsk, produit de l'APT, des oxydes de tungstène, de la poudre de tungstène, du carbure de tungstène, et des alliages durs. Sa capacité est de 2 kt/an de composés de tungstène et 1,44 kt/an d'alliages durs. En 2010, elle a produit 600 t de WO₃ contenu sous forme d'APT et d'oxyde jaune, et 900 t d'alliages durs, qu'elle exporte en partie aux États-Unis et dans plusieurs pays européens.

Ouzbékistan

UzKTZhM (Combinat Ouzbèk des métaux réfractaires), basé à Chirchik, dans la région de Tachkent, était l'un des plus importants producteurs de tungstène de l'Union Soviétique. Elle traitait jadis 2 000 t/an de concentrés importés, mais sa production aurait baissé à 66 t de tungstène et 520 t de molybdène en 2010 (source : www.andijan.uz). Elle a monté des partenariats pour chercher à redévelopper des mines de tungstène en Ouzbékistan, et en particulier celle d'Ingichki, dans la région de Samarcande.

Ukraine

Le **Combinat de Svitlodovsk des alliages durs et métaux réfractaires** aurait la capacité de produire 150 t/an de tiges de tungstène, 50 t/an de fil de tungstène de 0,4 à 1,5 mm de diamètre, et des fils de 30 à 390 µm de diamètre. Sa production serait actuellement très faible par manque de matières premières.

6.3. LES UTILISATEURS FRANÇAIS FINAUX

Les principaux producteurs français de produits intermédiaires (**Eurotungstène, Erasteel, Plansee Tungsten Alloys / Cime Bocuze, Technogenia, Hexametal**) ont été listés en 6.2.1 plus haut.

Au niveau des utilisations finales, le tungstène est important pour les industries stratégiques françaises.

Pour ses propriétés réfractaires, il entre dans la composition des produits devant résister à haute température, comme les moteurs aéronautiques. En effet, les alliages et superalliages à base de W conservent leurs propriétés structurales et mécaniques à très hautes températures ;

En raison de sa dureté, et en particulier celle du carbure de tungstène, il est dans les procédés industriels : les carbures de tungstène cémentés et les alliages durs au tungstène sont utilisés dans la plupart des outils de découpe, de perçage, de fraisage, de meulage des métaux sont donc utilisés dans les machines-outils de pratiquement toutes les industries qui travaillent le métal (chantiers navals, industries aéronautiques,

ferroviaires, automobiles, etc.). Ils sont aussi utilisés pour les outils de forage et les engins de chantier. Ils sont aussi utilisés comme revêtements protecteurs de l'abrasion.

Quelques utilisateurs de tungstène sont cités ci-dessous à titre indicatif, mais la liste est loin d'être exhaustive.

6.3.1. Industrie aéronautique, spatiale et de défense

Snecma (91 Courcouronnes, www.snecma.com), filiale du **Groupe Safran** (www.safran-group.com), conçoit et fabrique des moteurs pour l'aéronautique civile et militaire ainsi que des moteurs spatiaux (Ariane). Elle utilise des alliages et superalliages au tungstène (alliages à base de nickel ou de cobalt, cf. par exemple Tab.3) dans les aubes de turbines et les chambres de combustion des moteurs d'avions, pièces qui figurent parmi les points les plus chauds du moteur (cf. Fig. 28).

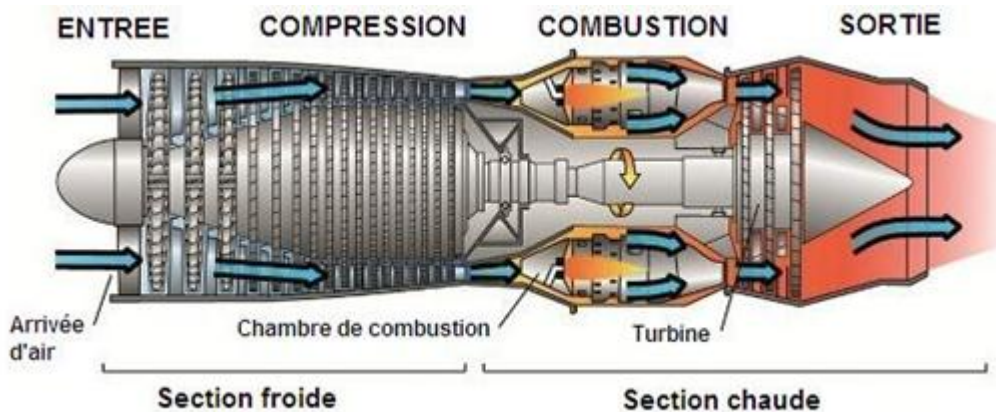


Figure 28 - Schéma d'un moteur d'avion (© ITIA, www.itia.info/superalloys.html)

Le tungstène est aussi utilisé dans les moteurs spatiaux.

Snecma utilise par ailleurs, comme tous les secteurs de construction mécanique, du tungstène sous forme d'outils de coupe à base de carbure de tungstène.

Compte tenu des propriétés spécifiques du tungstène, la plupart des industries des secteurs de l'aéronautique, du spatial et de la défense utilisent des alliages au tungstène pour les turbines et moteurs, pour des lests, des contrepoids, certains blindages et munitions, et aussi dans des outils de coupe et d'usinage au carbure de tungstène. Parmi ces sociétés, on pourra citer :

- **Turbomeca** (64 Bordes, www.turbomeca.com), une autre filiale du Groupe Safran, spécialisée dans les turbines pour hélicoptères ;
- **MBDA** (92 Le Plessis-Robinson, www.mbda-systems.com), concepteur et fabricant de missiles ;
- le **Groupe Thalès** (92 Neuilly-sur-Seine, www.thalesgroup.com), et en particulier sa filiale TDA Armements SAS (45 La Ferté-Saint-Aubin), qui fabrique des roquettes, mortiers, munitions et charges ;

- **Airbus SAS** (33 Blagnac, www.airbus.com), du groupe **EADS** (www.eads.com), utilise peut-être du tungstène aussi comme contrepoids pour les gouvernes des avions, en plus des alliages au tungstène des moteurs et des outils d'usinage au carbure de tungstène ;
- **Dassault Aviation** (92 Saint-Cloud, www.dassault-aviation.com) conçoit et construit des avions civils (Falcons) et militaires (Rafale, etc.) et utilise vraisemblablement du tungstène.

6.3.2. Nucléaire

Le programme **ITER** (www.iter.org) qui a commencé la construction d'un réacteur expérimental de fusion à Cadarache en 2010 devrait à terme utiliser du tungstène pour le revêtement du « divertor » de la chambre à plasma (cf. 3.1.3).

6.3.3. Industrie automobile

Aussi bien **Renault** (www.renault.fr) que **PSA-Peugeot-Citroën** (www.psa-peugeot-citroen.com) et nombre de leurs **sous-traitants** utilisent des outils de découpe et d'usinage de métaux qui utilisent très certainement des carbures de tungstène. Certaines pièces de moteurs peuvent éventuellement contenir un peu de tungstène.

6.3.4. Éclairage

Les fabricants d'ampoules d'éclairage utilisent des filaments et électrodes de tungstène. Pour ces fabricants, le tungstène est évidemment économiquement critique, même si les tonnages consommés sont relativement faibles. Parmi les fabricants en France, on pourra citer (liste non exhaustive) :

- la branche éclairage **Philips Lighting** (www.lighting.philips.com, www.lighting.philips.fr) de la société néerlandaise **Philips** (www.philips.com, www.philips.fr) possède cinq usines de production d'ampoules et dispositifs d'éclairage en France : Châlons-sur-Saône (71), Chartres (28), Longvic (21), Lamotte-Beuvron (41) et Miribel (01) ;
- **Aric** (93 Aubervilliers, www.aric-sa.com), qui produit et commercialise toutes sortes d'ampoules d'éclairage dans ses usines d'Aubervilliers (93) et de Segré (49) ;
- la société allemande **Osram** (www.osram.com) a une implantation en France, Osram Sasu, à Molsheim (67).

6.3.5. Matériaux

Saint-Gobain (92 Courbevoie, www.saint-gobain.fr), et en particulier sa branche Matériaux Innovants / Matériaux Haute Performance, produit des revêtements en carbure de tungstène cémenté au nickel (WC-Ni) utilisé pour divers usages tels que les

outils de forage pour les industries pétrolière et minière, le dragage, les fonderies, les cimenteries, etc. (<http://prod.ceramicmaterials.saint-gobain.com>).

6.3.6. Industries diverses

Les industries de constructions métalliques, les chantiers navals, les industries de construction ferroviaires, les constructions mécaniques, les constructeurs de turbines de production d'énergie, les fabricants d'éoliennes, etc. utilisent probablement très largement des outils de découpe et d'usinage en carbures cémentés.

On pourra citer par exemple le groupe **Alstom** (92 Levallois-Perret, www.alstom.com), qui construit des équipements pour la production d'énergie (turbines pour les centrales nucléaires, turbines à gaz, éoliennes, etc.), des matériels de transport ferroviaire, etc. Du tungstène ou du carbure de tungstène est vraisemblablement utilisé pour la production (outils de coupe et d'usinage), mais aussi pour des pièces d'usure, voire des éléments des turbines.

7. Commerce extérieur de la France

Les tableaux suivants présentent les données françaises d'importations et d'exportations, en valeur (k€) et en volume (t), de composés et ouvrages au tungstène sur les années 2009, 2010 et 2011. Suivant la nomenclature combinée des Douanes françaises (NC8), 10 catégories de produits bruts ou intermédiaires contenant du W ont été prises en compte (Le Kiosque - Portail des statistiques du Commerce extérieur, <http://lekiosque.finances.gouv.fr>) :

- 26110000 - Minerais de tungstène et leurs concentrés ;
- 28259040 - Oxydes et hydroxydes de tungstène ;
- 28410000 - Tungstates (wolframates) ;
- 28499030 - Carbures de tungstène, de constitution chimique définie ou non ;
- 72028000 - Ferrotungstène et ferrosilicotungstène ;
- 81011000 - Poudres de tungstène ;
- 81019400 - Tungstène sous forme brute, y compris les barres en tungstène simplement obtenues par frittage ;
- 81019600 - Fils en tungstène ;
- 81019700 - Déchets et débris de tungstène (sauf cendres et résidus contenant du tungstène) ;
- 81019910 - Barres (autres que celles simplement obtenues par frittage), profilés, tôles, bandes et feuilles en tungstène, n.d.a.¹³ ;
- 81019990 - Ouvrages en tungstène, n.d.a. ;

Dans la nomenclature douanière, sont également identifiés comme contenant du tungstène, parmi les biens d'équipement et produits finis identifiés comme contenant du tungstène, les lampes et tubes halogènes au tungstène (différentes spécificités, numéros NC8 85392130, 85392192 et 85392198). Les autres produits finis contenant du tungstène (outils contenant du carbure de tungstène, par exemple) ne sont pas repérés comme tels.

Il est à noter que la nomenclature « ouvrages en tungstène » n'est pas très précise et il est possible qu'elle inclue à la fois des produits intermédiaires et des produits finis.

Il est également à noter que les chiffres du kiosque excluent le tungstène entrant dans le matériel militaire.

La grande majorité des postes sont restés déficitaires, avec des niveaux de déficit croissants de 2009 à 2011, à l'exception des barres, profilés et tôles de tungstène, encore excédentaires en 2009 et 2010 et passés déficitaires en 2011, et des « ouvrages en tungstènes n.d.a. », déficitaires en 2009 et 2010 et passés excédentaires en 2011.

Le cumul de ces produits est bien sûr déficitaire en tonnage, la France n'extrayant plus de tungstène de son sous-sol. Le solde net du tonnage cumulé de produits tungstifères

¹³ n.d.a. = non dénommé ailleurs

importé diminué de celui des produits exportés est passé de 2 067 t en 2010 à 2 343 t en 2011.

En tonnages, la France importe surtout de l'APT, des oxydes de tungstène et du ferrotungstène de Chine, du tungstène métal (poudres et métal brut formé) d'Allemagne et d'Autriche, et du carbure de tungstène de Chine et de Chine et d'Autriche (voir répartition détaillée sur le tableau 16).

En valeur, le cumul de ces produits bruts et intermédiaires en tungstène est nettement déficitaire, et même de plus en plus déficitaire. Il est passé de 42,9 M€ en 2010 à 62,2 M€ en 2011¹⁴, soit une augmentation de 45 %, due en partie à une augmentation du déficit de tonnages échangés (13 %) mais aussi et surtout à une augmentation des prix unitaires.

La plus grosse part de ce déficit se fait avec la Chine, d'où la France importe l'essentiel des oxydes et des tungstates (APT) et une part importante des carbures et poudres de tungstène (déficit passé de 26,4 à 45,2 M€ entre 2010 et 2011). Le deuxième pays avec lequel la France a un déficit important est l'Autriche, d'où sont importés une bonne part des poudres et carbures de tungstène (déficit de 12,1 M€ en 2011).

¹⁴ Le déficit cumulé de 2009 est incomplet sur le tableau 15, en raison de l'absence des chiffres concernant les tungstates (essentiellement l'APT) pour cette année-là, retirés du site « le kiosque » avant la consultation.

	2009			2010			2011		
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.
26110000 - Minerais de tungstène et leurs concentrés									
Exportations FAB									
Allemagne	0 k€	0 t		33 k€	2 t		58 k€	2 t	
Italie	0 k€	0 t		1 k€	0 t		15 k€	0 t	
Espagne	11 k€	0 t		0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	3 k€	0 t		3 k€	0 t		9 k€	0 t	
Total	14 k€			37 k€	2 t		82 k€	2 t	
Importations CAF									
Italie	0 k€	0 t		0 k€	0 t		60 k€	4 t	
Chine	5 k€	0 t		52 k€	2 t		25 k€	0 t	
Allemagne	19 k€	1 t		0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Total	24 k€	1 t		52 k€	2 t		85 k€	4 t	
Déficit	-10 k€	-1 t		-15 k€	0 t		-3 k€	-2 t	
28259040 - Oxydes et hydroxydes de tungstène									
Exportations FAB									
Belgique	19 k€	1 t		16 k€	1 t		0 k€	0 t	
Hong-Kong	9 k€	0 t		0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Italie	3 k€	0 t		0 k€	0 t		2 k€	0 t	
TOTAL	31 k€	1 t		16 k€	1 t		2 k€		
Importations CAF									
Chine	3 353 k€	250 t	13.41 €/kg	11 159 k€	693 t	16.10 €/kg	12 062 k€	416 t	29.00 €/kg
Russie	0 k€	0 t		1 075 k€	60 t	17.92 €/kg	2 328 k€	80 t	29.10 €/kg
Vietnam	0 k€	0 t		716 k€	40 t	17.90 €/kg	400 k€	20 t	20.00 €/kg
Autres pays	31 k€	1 t		67 k€	0 t		379 k€	4 t	94.75 €/kg
TOTAL	3 384 k€	251 t		13 017 k€	793 t		15 169 k€	520 t	
Déficit	-3 353 k€	-250 t		-13 001 k€	-792 t		-15 167 k€	-520 t	
28418000 - Tungstates									
Exportations FAB									
Allemagne	n.d.	n.d.		12 k€	0 t		3 k€	0 t	
Espagne	n.d.	n.d.		2 k€	0 t		5 k€	0 t	
Italie	n.d.	n.d.		2 k€	0 t		0 k€	0 t	
Royaume-Uni	n.d.	n.d.		0 k€	0 t		1 k€	0 t	
TOTAL				16 k€			9 k€		
Importations CAF									
Chine	n.d.	n.d.		7 288 k€	460 t	15.84 €/kg	17 278 k€	660 t	26.18 €/kg
Allemagne	n.d.	n.d.		575 k€	27 t	21.30 €/kg	2 861 k€	100 t	28.61 €/kg
Autres pays	n.d.	n.d.		86 k€	6 t	14.33 €/kg	77 k€	6 t	12.83 €/kg
TOTAL				7 949 k€	493 t		20 216 k€	766 t	
Déficit				-7 933 k€	-493 t		-20 195 k€	-766 t	
28499030 - Carbures de tungstène, de constitution chimique définie ou non									
Exportations FAB									
Royaume-Uni	605 k€	23 t	26.30 €/kg	1 738 k€	60 t	28.97 €/kg	3 049 k€	73 t	41.77 €/kg
Allemagne	2 081 k€	114 t	18.25 €/kg	3 434 k€	132 t	26.02 €/kg	2 859 k€	76 t	37.62 €/kg
Italie	932 k€	31 t	30.06 €/kg	1 372 k€	45 t	30.49 €/kg	2 702 k€	55 t	49.13 €/kg
Japon	141 k€	4 t	35.25 €/kg	398 k€	16 t	24.88 €/kg	651 k€	13 t	50.08 €/kg
Belgique	71 k€	2 t	35.50 €/kg	197 k€	5 t	39.40 €/kg	447 k€	10 t	44.70 €/kg
Autriche	1 057 k€	64 t	16.52 €/kg	1 k€	0 t		329 k€	12 t	27.42 €/kg
Etats-Unis	252 k€	5 t		271 k€	5 t		265 k€	4 t	
Suisse	2 k€	0 t		16 k€	1 t		238 k€	5 t	
Brésil	126 k€	1 t		105 k€	1 t		221 k€	5 t	
Espagne	153 k€	4 t		222 k€	6 t		175 k€	3 t	
Corée du Sud	46 k€	1 t		45 k€	1 t		130 k€	2 t	
Canada	23 k€	0 t		48 k€	1 t		87 k€	1 t	
Portugal	17 k€	0 t		25 k€	1 t		85 k€	1 t	
Suède	68 k€	5 t		22 k€	0 t		81 k€	4 t	
Turquie	31 k€	1 t		117 k€	5 t		35 k€	1 t	
Finlande	1 k€	0 t		77 k€	2 t		4 k€	0 t	
Autres pays	187 k€	4 t		270 k€	4 t		393 k€	4 t	
TOTAL	5 793 k€	259 t	22.37 €/kg	8 358 k€	285 t	29.33 €/kg	11 751 k€	269 t	43.68 €/kg

Tableau 16 - Statistiques françaises d'import-export de tungstène, de minerai, d'ouvrages et de déchets de tungstène. Données CAF-FAB hors matériel militaire.

Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2009			2010			2011		
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.
28499030 - Carburants de tungstène, de constitution chimique définie ou non (suite)									
Importations CAF									
Autriche	1 501 k€	66 t	22.74 €/kg	1 030 k€	41 t	25.12 €/kg	6 662 k€	135 t	49.35 €/kg
Allemagne	4 348 k€	128 t	33.97 €/kg	3 107 k€	69 t	45.03 €/kg	5 729 k€	96 t	59.68 €/kg
Chine	968 k€	47 t	20.60 €/kg	3 786 k€	170 t	22.27 €/kg	5 020 k€	155 t	32.39 €/kg
Etats-Unis	1 855 k€	46 t	40.33 €/kg	2 474 k€	65 t	38.06 €/kg	3 726 k€	79 t	47.16 €/kg
Tchéquie	67 k€	2 t	33.50 €/kg	159 k€	5 t	31.80 €/kg	1 898 k€	38 t	49.95 €/kg
Suède	161 k€	6 t	26.83 €/kg	191 k€	3 t	63.67 €/kg	934 k€	35 t	26.69 €/kg
Royaume-Uni	3 k€	0 t		19 k€	1 t		466 k€	20 t	23.30 €/kg
Autres pays	325 k€	16 t	20.31 €/kg	193 k€	4 t	48.25 €/kg	947 k€	21 t	45.10 €/kg
TOTAL	9 228 k€	311 t	29.67 €/kg	10 959 k€	358 t	30.61 €/kg	25 382 k€	579 t	43.84 €/kg
Déficit	-3 435 k€	-52 t		-2 601 k€	-73 t		-13 631 k€	-310 t	
72028000 - Ferrotungstène et ferrosilicotungstène									
Exportations FAB									
Espagne	40 k€	2 t		79 k€	5 t		997 k€	37 t	
Slovénie	0 k€	0 t		11 k€	1 t		219 k€	8 t	
Allemagne	94 k€	6 t		138 k€	7 t		188 k€	7 t	
Italie	137 k€	8 t		144 k€	8 t		89 k€	3 t	
Belgique	7 k€	0 t		162 k€	9 t		10 k€	0 t	
Algérie	9 k€	0 t		0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Suède	27 k€	2 t		0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	8 k€	0 t		15 k€	0 t		42 k€	1 t	
TOTAL	322 k€	18 t	17.89 €/kg	549 k€	30 t	18.30 €/kg	1 545 k€	56 t	27.59 €/kg
Importations CAF									
Chine	1 702 k€	104 t	16.37 €/kg	2 689 k€	150 t	17.93 €/kg	6 283 k€	221 t	28.43 €/kg
Allemagne	972 k€	68 t	14.29 €/kg	1 095 k€	51 t	21.47 €/kg	1 830 k€	67 t	27.31 €/kg
Belgique	280 k€	16 t	17.50 €/kg	599 k€	42 t	14.26 €/kg	788 k€	33 t	23.88 €/kg
Bésil	0 k€	0 t		0 k€	0 t		708 k€	20 t	35.40 €/kg
Pays-Bas	0 k€	0 t		586 k€	31 t	18.90 €/kg	582 k€	17 t	34.24 €/kg
Vietnam	409 k€	29 t	14.10 €/kg	615 k€	42 t	14.64 €/kg	269 k€	10 t	26.90 €/kg
Royaume-Uni	422 k€	29 t	14.55 €/kg	12 k€	0 t		8 k€	0 t	
Inde	0 k€	0 t		504 k€	25 t	20.16 €/kg	0 k€	0 t	
Autres pays	4 k€	0 t		30 k€	1 t		179 k€	9 t	19.89 €/kg
TOTAL	3 789 k€	246 t	15.40 €/kg	6 130 k€	342 t	17.92 €/kg	10 647 k€	377 t	28.24 €/kg
Déficit	-3 467 k€	-228 t		-5 581 k€	-312 t		-9 102 k€	-321 t	
81011000 - Poudres de tungstène									
Exportations FAB									
Suisse	1 292 k€	43 t	30.05 €/kg	1 915 k€	59 t	32.46 €/kg	4 428 k€	89 t	49.75 €/kg
Allemagne	337 k€	29 t	11.62 €/kg	259 k€	8 t	32.38 €/kg	1 433 k€	42 t	34.12 €/kg
Italie	97 k€	3 t	32.33 €/kg	445 k€	16 t	27.81 €/kg	739 k€	16 t	46.19 €/kg
Royaume-Uni	625 k€	47 t	13.30 €/kg	381 k€	13 t	29.31 €/kg	682 k€	15 t	45.47 €/kg
Autriche	89 k€	6 t	14.83 €/kg	806 k€	55 t	14.65 €/kg	547 k€	31 t	17.65 €/kg
Turquie	17 k€	1 t		83 k€	3 t	27.67 €/kg	366 k€	8 t	45.75 €/kg
Belgique	123 k€	4 t	30.75 €/kg	167 k€	4 t	41.75 €/kg	312 k€	9 t	34.67 €/kg
Chine	87 k€	19 t	4.58 €/kg	0 k€	0 t		128 k€	2 t	
Luxembourg	47 k€	1 t		64 k€	2 t		118 k€	2 t	
Australie	12 k€	0 t		88 k€	2 t		93 k€	2 t	
Corée du Sud	40 k€	1 t		27 k€	1 t		88 k€	2 t	
Espagne	45 k€	1 t		53 k€	1 t		84 k€	1 t	
Inde	45 k€	2 t		23 k€	0 t		76 k€	2 t	
Taiwan	45 k€	1 t		53 k€	1 t		75 k€	2 t	
Etats-Unis	30 k€	1 t		70 k€	4 t		8 k€	0 t	
Tchéquie	0 k€	0 t		175 k€	15 t	11.67 €/kg	3 k€	0 t	
Liban	104 k€	3 t	34.67 €/kg	0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	96 k€	1 t		158 k€	9 t	17.56 €/kg	247 k€	3 t	
TOTAL	3 131 k€	163 t		4 767 k€	193 t		9 427 k€	226 t	

Tableau 16 (suite) - Statistiques françaises d'import-export de tungstène, de minerai, d'ouvrages et de déchets de tungstène. Données CAF-FAB hors matériel militaire.

	2009			2010			2011		
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.
81011000 - Poudres de tungstène (suite)									
Importations CAF									
Autriche	3 789 k€	166 t	22.83 €/kg	11 446 k€	442 t	25.90 €/kg	6 462 k€	174 t	37.14 €/kg
Chine	568 k€	32 t	17.75 €/kg	645 k€	27 t	23.89 €/kg	4 003 k€	93 t	43.04 €/kg
Allemagne	695 k€	17 t	40.88 €/kg	1 486 k€	62 t	23.97 €/kg	3 043 k€	289 t	10.53 €/kg
Finlande	330 k€	5 t	66.00 €/kg	2 724 k€	137 t	19.88 €/kg	2 025 k€	71 t	28.52 €/kg
Etats-Unis	673 k€	8 t	84.13 €/kg	60 k€	2 t		1 162 k€	42 t	27.67 €/kg
Royaume-Uni	360 k€	17 t	21.18 €/kg	40 k€	1 t		23 k€	1 t	
Espagne	200 k€	50 t	4.00 €/kg	7 k€	0 t		0 k€	0 t	
Suède	333 k€	18 t	18.50 €/kg	0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	212 k€	5 t	42.40 €/kg	204 k€	11 t	18.55 €/kg	556 k€	17 t	32.71 €/kg
TOTAL	7 160 k€	318 t		16 612 k€	682 t		17 274 k€	687 t	
Déficit	-4 029 k€	-155 t		-11 845 k€	-489 t		-7 847 k€	-461 t	
81019400 - Tungstène sous forme brute, y compris les barres en tungstène simplement obtenues par frittage.									
Exportations FAB									
Allemagne	74 k€	2 t		344 k€	35 t	9.83 €/kg	381 k€	11 t	34.64 €/kg
Luxembourg	0 k€	0 t		0 k€	0 t		292 k€	2 t	
Slovaquie	0 k€	0 t		0 k€	0 t		219 k€	2 t	
Autres pays	1 k€	0 t		3 k€	0 t		32 k€	0 t	
TOTAL	75 k€	2 t	37.50 €/kg	347 k€	35 t	9.91 €/kg	924 k€	15 t	61.60 €/kg
Importations CAF									
Allemagne	459 k€	7 t	65.57 €/kg	698 k€	11 t	63.45 €/kg	1 036 k€	26 t	39.85 €/kg
Autriche	39 k€	2 t		182 k€	7 t	26.00 €/kg	268 k€	7 t	38.29 €/kg
Royaume-Uni	130 k€	6 t	21.67 €/kg	115 k€	3 t	38.33 €/kg	159 k€	3 t	53.00 €/kg
Chine	2 k€	0 t		13 k€	0 t		47 k€	1 t	
Italie	10 k€	0 t		56 k€	0 t		26 k€	0 t	
Etats-Unis	181 k€	0 t		39 k€	0 t		9 k€	0 t	
Espagne	0 k€	0 t		103 k€	0 t		0 k€	0 t	
Luxembourg	0 k€	0 t		25 k€	0 t		0 k€	0 t	
Vietnam	0 k€	0 t		44 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	9 k€	0 t		45 k€	0 t		4 k€	0 t	
TOTAL	830 k€	15 t	55.33 €/kg	1 320 k€	21 t	62.86 €/kg	1 549 k€	37 t	41.86 €/kg
Déficit	-755 k€	-13 t		-973 k€	14 t		-625 k€	-22 t	
81019600 - Fils en tungstène									
Exportations FAB									
Belgique	107 k€	0 t		220 k€	1 t		255 k€	2 t	
Italie	59 k€	0 t		26 k€	0 t		32 k€	0 t	
Roumanie	12 k€	0 t		28 k€	0 t		29 k€	0 t	
Espagne	11 k€	0 t		8 k€	0 t		12 k€	0 t	
Royaume-Uni	12 k€	0 t		23 k€	0 t		10 k€	0 t	
Pays-Bas	12 k€	0 t		21 k€	0 t		8 k€	0 t	
Pologne	28 k€	0 t		4 k€	0 t		4 k€	0 t	
Autriche	0 k€	0 t		4 k€	0 t		2 k€	0 t	
Allemagne	36 k€	0 t		29 k€	0 t		1 k€	0 t	
Etats-Unis	16 k€	0 t		3 k€	0 t		1 k€	0 t	
Japon	6 k€	0 t		13 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	5 k€	0 t		21 k€	0 t		9 k€	0 t	
TOTAL	304 k€			400 k€	1 t		363 k€	2 t	

Tableau 16 (suite) - Statistiques françaises d'import-export de tungstène, de minéral, d'ouvrages et de déchets de tungstène. Données CAF-FAB hors matériel militaire.

	2009			2010			2011		
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.
81019600 - Fils en tungstène (suite)									
Importations CAF									
Japon	168 k€	0 t		233 k€	1 t		500 k€	6 t	83.33 €/kg
Allemagne	127 k€	1 t		140 k€	1 t		330 k€	2 t	
Chine	15 k€	0 t		21 k€	0 t		155 k€	2 t	
Inde	129 k€	1 t		139 k€	1 t		154 k€	1 t	
Belgique	414 k€	1 t		308 k€	1 t		85 k€	1 t	
Corée du Sud	93 k€	1 t		135 k€	2 t		79 k€	1 t	
Etats-Unis	113 k€	0 t		37 k€	0 t		56 k€	0 t	
Suisse	141 k€	0 t		13 k€	0 t		55 k€	1 t	
Suède	26 k€	0 t		28 k€	0 t		42 k€	0 t	
Royaume-Uni	144 k€	1 t		132 k€	0 t		39 k€	0 t	
Autriche	20 k€	0 t		24 k€	0 t		29 k€	0 t	
Espagne	75 k€	0 t		1 k€	0 t		1 k€	0 t	
Italie	38 k€	0 t		20 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	27 k€	0 t		21 k€	0 t		14 k€	0 t	
TOTAL	1 530 k€	5 t	306.00 €/kg	1 252 k€	6 t	208.67 €/kg	1 539 k€	14 t	109.93 €/kg
Déficit	-1 226 k€	-5 t		-852 k€	-5 t		-1 176 k€	-12 t	
81019700 - Déchets et débris de tungstène (sauf cendres et résidus contenant du W)									
Exportations FAB									
Allemagne	627 k€	67 t	9.36 €/kg	654 k€	39 t	16.77 €/kg	1 195 k€	67 t	17.84 €/kg
Royaume-Uni	507 k€	52 t	9.75 €/kg	593 k€	46 t	12.89 €/kg	946 k€	48 t	19.71 €/kg
Espagne	0 k€	0 t		0 k€	0 t		523 k€	31 t	16.87 €/kg
Rep. Tchèque	0 k€	0 t		386 k€	23 t	16.78 €/kg	499 k€	20 t	24.95 €/kg
Belgique	62 k€	6 t	10.33 €/kg	49 k€	3 t	16.33 €/kg	33 k€	2 t	
Suisse	86 k€	3 t	28.67 €/kg	0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	53 k€	3 t	17.67 €/kg	49 k€	20 t	2.45 €/kg	57 k€	2 t	
TOTAL	1 335 k€	131 t	10.19 €/kg	1 731 k€	131 t	13.21 €/kg	3 253 k€	170 t	19.14 €/kg
Importations CAF									
Allemagne	181 k€	32 t	5.66 €/kg	126 k€	30 t	4.20 €/kg	2 268 k€	98 t	23.14 €/kg
Royaume-Uni	183 k€	14 t	13.07 €/kg	183 k€	10 t	18.30 €/kg	501 k€	40 t	12.53 €/kg
Rep. Tchèque	0 k€	0 t		0 k€	0 t		371 k€	22 t	16.86 €/kg
Italie	22 k€	3 t	7.33 €/kg	0 k€	0 t		291 k€	24 t	12.13 €/kg
Etats-Unis	2 k€	0 t		172 k€	8 t	21.50 €/kg	73 k€	4 t	18.25 €/kg
Luxembourg	0 k€	0 t		0 k€	0 t		73 k€	3 t	24.33 €/kg
Chine	1 612 k€	86 t	18.74 €/kg	494 k€	22 t	22.45 €/kg	63 k€	2 t	
Pays-Bas	146 k€	7 t	20.86 €/kg	0 k€	0 t		16 k€	2 t	
Suède	70 k€	3 t	23.33 €/kg	27 k€	1 t		0 k€	0 t	
Autres pays	53 k€	4 t	13.25 €/kg	39 k€	4 t	9.75 €/kg	98 k€	5 t	19.60 €/kg
TOTAL	2 269 k€	149 t	15.23 €/kg	1 041 k€	75 t	13.88 €/kg	3 754 k€	200 t	18.77 €/kg
Excédent/Déficit	-934 k€	-18 t		690 k€	56 t		-501 k€	-30 t	
81019910 - Barres (autres que celles obtenues par frittage), profilés, tôles, bandes et feuilles en tungstène									
Exportations FAB									
Inde	61 k€	0 t		0 k€	0 t		18 k€	0 t	
Pays-Bas	88 k€	1 t		37 k€	1 t		7 k€	1 t	
Allemagne	493 k€	4 t	123.25 €/kg	245 k€	2 t		0 k€	0 t	
Autriche	131 k€	2 t		124 k€	2 t		0 k€	0 t	
Belgique	269 k€	2 t		936 k€	10 t	93.60 €/kg	0 k€	0 t	
Bulgarie	55 k€	1 t		110 k€	1 t		0 k€	0 t	
Espagne	141 k€	1 t		46 k€	0 t		0 k€	0 t	
Etats-Unis	858 k€	7 t	122.57 €/kg	51 k€	0 t		0 k€	0 t	
Israël	293 k€	2 t		8 k€	0 t		0 k€	0 t	
Italie	160 k€	1 t		112 k€	1 t		0 k€	0 t	
Norvège	2 512 k€	11 t	228.36 €/kg	0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Suède	113 k€	1 t		60 k€	1 t		0 k€	0 t	
Suisse	91 k€	1 t		71 k€	1 t		0 k€	0 t	
Autres pays	218 k€	1 t		49 k€	0 t		2 k€	0 t	
TOTAL	5 483 k€	35 t	156.66 €/kg	1 849 k€	19 t	97.32 €/kg	27 k€	1 t	

Tableau 16 (suite) - Statistiques françaises d'import-export de tungstène, de minerai, d'ouvrages et de déchets de tungstène. Données CAF-FAB hors matériel militaire.

	2009			2010			2011		
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.
81019910 - Barres (autres que celles obtenues par frittage), profilés, tôles, bandes et feuilles en tungstène (suite)									
Importations CAF									
Corée du Sud	11 k€	0 t		0 k€	0 t		716 k€	9 t	79.56 €/kg
Allemagne	124 k€	0 t		210 k€	1 t		73 k€	1 t	
Autriche	29 k€	0 t		48 k€	0 t		42 k€	16 t	2.63 €/kg
Royaume-Uni	24 k€	0 t		20 k€	0 t		26 k€	0 t	
Belgique	278 k€	1 t		881 k€	2 t		1 k€	0 t	
Vietnam	0 k€	0 t		135 k€	3 t	45.00 €/kg	1 k€	0 t	
Chine	126 k€	2 t		93 k€	3 t	31.00 €/kg	0 k€	0 t	
Liban	12 k€	0 t		0 k€	0 t		0 k€	0 t	
Pays-Bas	39 k€	0 t		13 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	11 k€	0 t		7 k€	0 t		21 k€	0 t	
TOTAL	654 k€	3 t	218.00 €/kg	1 407 k€	9 t	156.33 €/kg	880 k€	26 t	33.85 €/kg
Excédent/Déficit	4 829 k€	32 t		442 k€	10 t		-853 k€	-25 t	
81019990 - Ouvrages en tungstène									
Exportations FAB									
Allemagne	423 k€	6 t	70.50 €/kg	1 010 k€	14 t	72.14 €/kg	3 303 k€	52 t	63.52 €/kg
Norvège	87 k€	1 t		166 k€	1 t		1 497 k€	5 t	299.40 €/kg
Bulgarie	10 k€	0 t		252 k€	2 t		1 013 k€	3 t	337.67 €/kg
Etats-Unis	33 k€	0 t		533 k€	5 t	106.60 €/kg	961 k€	9 t	106.78 €/kg
Belgique	365 k€	7 t	52.14 €/kg	86 k€	1 t		917 k€	7 t	131.00 €/kg
Autriche	494 k€	7 t	70.57 €/kg	774 k€	11 t	70.36 €/kg	827 k€	22 t	37.59 €/kg
Suisse	307 k€	2 t		432 k€	3 t	144.00 €/kg	752 k€	5 t	150.40 €/kg
Italie	302 k€	2 t		305 k€	2 t		681 k€	4 t	170.25 €/kg
Afr. du Sud	583 k€	8 t	72.88 €/kg	259 k€	4 t	64.75 €/kg	672 k€	8 t	84.00 €/kg
Suède	213 k€	21 t	10.14 €/kg	554 k€	33 t	16.79 €/kg	659 k€	12 t	54.92 €/kg
Tchéquie	1 k€	0 t		3 k€	0 t		569 k€	21 t	27.10 €/kg
Inde	8 k€	0 t		19 k€	0 t		542 k€	6 t	90.33 €/kg
Espagne	22 k€	1 t		68 k€	1 t		507 k€	5 t	101.40 €/kg
Mexique	416 k€	2 t		418 k€	1 t		332 k€	2 t	
Japon	58 k€	1 t		80 k€	1 t		259 k€	2 t	
Royaume-Uni	43 k€	0 t		279 k€	3 t	93.00 €/kg	257 k€	1 t	
Chine	23 k€	0 t		106 k€	2 t		157 k€	2 t	
Pays-Bas	55 k€	0 t		144 k€	1 t		120 k€	0 t	
Israël	69 k€	2 t		78 k€	1 t		85 k€	1 t	
Australie	28 k€	0 t		28 k€	0 t		18 k€	0 t	
Autres pays	116 k€	3 t	38.67 €/kg	196 k€	2 t		366 k€	4 t	91.50 €/kg
TOTAL	3 656 k€	63 t	58.03 €/kg	5 790 k€	88 t	65.80 €/kg	14 494 k€	171 t	84.76 €/kg
Importations CAF									
Allemagne	3 588 k€	18 t	199.33 €/kg	4 742 k€	32 t	148.19 €/kg	5 870 k€	36 t	163.06 €/kg
Chine	236 k€	3 t	78.67 €/kg	292 k€	4 t	73.00 €/kg	505 k€	5 t	101.00 €/kg
Etats-Unis	174 k€	0 t		337 k€	1 t		365 k€	2 t	
Autriche	281 k€	1 t		342 k€	1 t		326 k€	1 t	
Italie	39 k€	24 t	1.63 €/kg	55 k€	3 t	18.33 €/kg	204 k€	1 t	
Japon	14 k€	0 t		1 012 k€	30 t	33.73 €/kg	46 k€	0 t	
Belgique	242 k€	4 t	60.50 €/kg	52 k€	0 t		0 k€	0 t	
Autres pays	177 k€	1 t		230 k€	0 t		250 k€	0 t	
TOTAL	4 751 k€	51 t	93.16 €/kg	7 062 k€	71 t	99.46 €/kg	7 566 k€	45 t	168.13 €/kg
Excédent/Déficit	-1 095 k€	12 t		-1 272 k€	17 t		6 928 k€	126 t	
Cumul des produits bruts et intermédiaires de tungstène (concentrés, poudres, composés, déchets, ouvrages)									
Déficit	-13 475 k€	-678 t		-42 941 k€	-2 067 t		-62 172 k€	-2 343 t	
dont avec la Chine	-8 477 k€	-505 t		-26 426 k€	-1 529 t		-45 156 k€	-1 551 t	
dont avec l'Autriche	-3 888 k€	-156 t		-11 363 k€	-423 t		-12 084 k€	-268 t	

Tableau 16 (suite) - Statistiques françaises d'import-export de tungstène, de minerai, d'ouvrages et de déchets de tungstène. Données CAF-FAB hors matériel militaire.

8. Criticité

La criticité du tungstène est résumée comme suit (fig. 29)

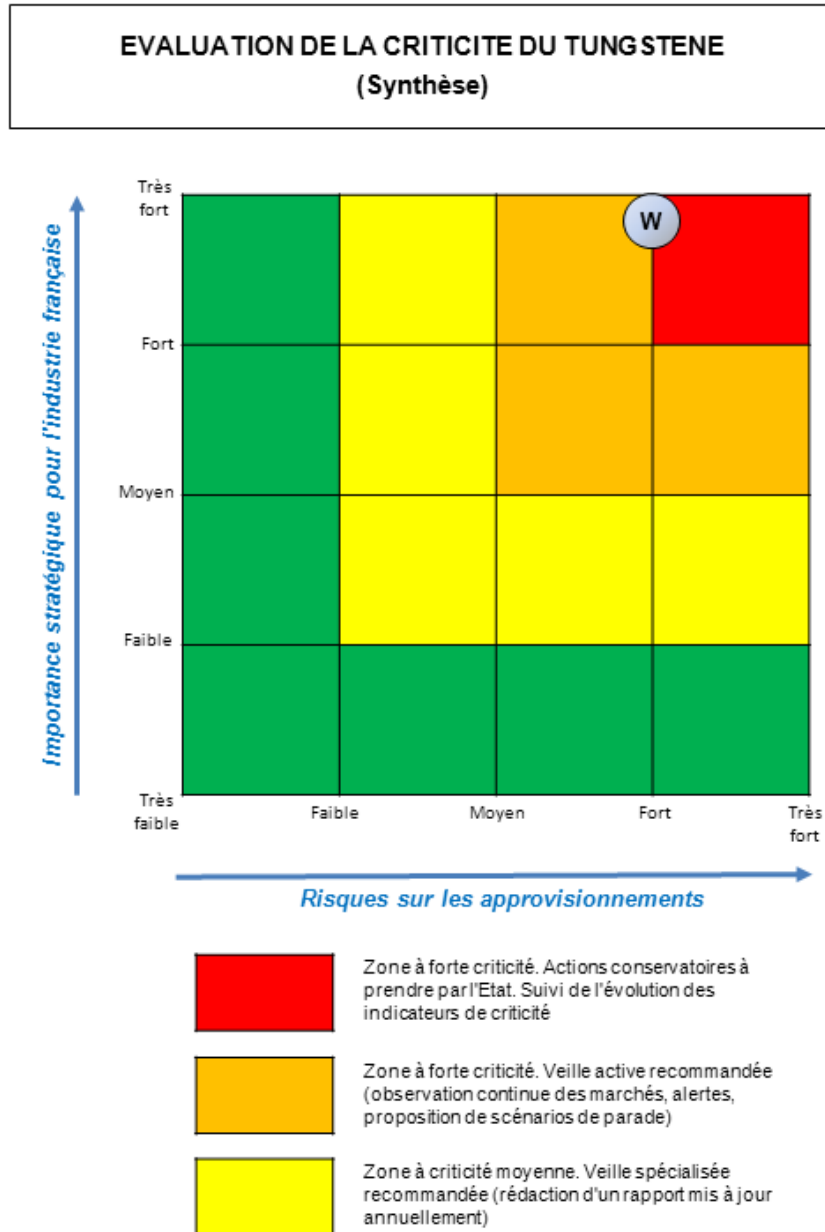


Figure 29 - Synthèse de la criticité du tungstène.

9. Bibliographie

Ad-hoc Working Group (European Commission, 2010) - Critical raw materials for the EU : Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 2010, 53 p et 5 annexes

Aihua X., Bingxin L. (2010) - Analysis on China's tungsten industry in 2010-2011, Beijing Antaike Information Development Co., Ltd. Brève présentation disponible en ligne sur <http://cmb.cnni.net.cn/qj/Antaike%20Tungsten%20Report.pdf>

Angerer G., Erdmann L. et al. (2009) - Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Fraunhofer Institut für System und Innovationsforschung / Institut für Zukunfts studien und Technologiebewertung, 83 p.

Becker J. (2011) – Tout sur les aciers, disponible en ligne : <http://couteaux.free.fr>

Béziat P., Coulomb J.J. (1990) – Les gisements de tungstène en France – Situation en 1990, BRGM sous l'égide du Comité de l'Inventaire des ressources minières métropolitaines, 107 p.

British Geological Survey (2011) – Commodity profile : tungsten, 33 p, 2011, disponible en ligne : www.mineralsuk.com

British Geological Survey (2011) - Risk list 2011, 9 p, disponible en ligne : www.mineralsuk.com

Brown T.J. et al. (BGS, 2011) - European Mineral Statistics 2005-2009, 2011, 358 p.

Brown T.J. et al. (BGS, 2011) - World Mineral Production 2005-2009, 2011, 118 p.

Guiollard P.C. (2009) - L'Industrie minière de l'antimoine et du tungstène – Emergence, prospérité et disparition des exploitations de France métropolitaine aux XIX^e et XX^e siècles, thèse soutenue pour l'obtention du grade de Docteur en Histoire, décembre 2009, 536 p. et 2 ann.

International Tungsten Industry Association (ITIA) (2011) - Information on tungsten: sources, properties and uses, disponibles en ligne : www.itia.info

Jébrak M., Marcoux E. (2008) - Géologie des ressources minérales, 2008, 667 p.

Mining Journal (2008) – Tungsten, *in* Mining Journal special publication, juin 2008, 15 p.

Monier V. et al. (ADEME) (2010) - Étude du potentiel de recyclage de certains métaux rares, 1^{ère} partie, 2010, 222 p., p. 201-208

Pastor H. (2000) – Métallurgie et recyclage du tungstène. Procédés, *in* Techniques de l'Ingénieur M-2378, 2000, 26 p.

Pastor H. (2000) – Métallurgie et recyclage du tungstène. Produits et sécurité, *in* Techniques de l'Ingénieur M-2379, 2000, 10 p.

Pelon R., Hocquard Ch., Gentilhomme Ph. (2004) – L'offre de tungstène : à l'heure de la remontée des cours, le quasi-monopole chinois est-il une menace pour les approvisionnements ?, BRGM/RP-5288776-FR, 2004, 27 p.

Raw Material Group (2011) - Raw Material Data (base de données).

Research in China (2011) – China tungsten industry report, 2010-2011
(*ouvrage non acquis, non consulté, cité pour mémoire*)

Roskill Information Services (2010) - Rhenium market outlook to 2015, Eighth edition, 2010, 131 p.

Roskill Information Services (2011) – Tungsten : Market outlook to 2016, tenth edition, 2011, 230 p., 1 ann.

Shedd K.B. (USGS, 2012) - 2010 Minerals Yearbook: Tungsten, 2010, 22 p., disponible en ligne : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tungsten/>

Shedd K.B. (USGS, 2011) - 2010 Mineral Commodity Summaries : Tungsten, 2011, 2 p., disponible en ligne : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tungsten/>

Shedd K.B. (USGS, 2011) - Mineral Industry surveys: Tungsten, October 2011, disponible en ligne : <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tungsten/>

Smith M. (2012) – 2011 Tungsten market trends and 2012 market outlook, exclusive to Tungsten Investing News, 2012, 2 p.

U.S. Geological Survey (2011) - Tungsten statistics, in Kelly, T.D., and Matos, G.R.comps., Historical statistics for mineral and material commodities in the United States: U.S. Geological Survey Data Series 140, disponible en ligne : <http://pubs.usgs.gov/ds/2005/140/>

U.S. Geological Survey (2011) - Mineral Resources Data System (MRDS), disponible en ligne : <http://tin.er.usgs.gov/mrds/>

Vulcan T. (2008) – Tungsten : Heavy metal (including Cello), in Hard Assets Investor,; 2008, 8 p., disponible en ligne: www.hardassetsinvestor.com/interviews/1342-tungsten-heavy-metal-including-cello.html

Sites généraux sur le tungstène et certains usages

International Tungsten Industries Association : www.itia.info

China Tungsten Industry Association : www.ctia.com.cn/english.asp

Tungsten Investing News : www.tungsteninvestingnews.com

Sites des sociétés minières et industriels concernés

liens cités le long du texte



Centre scientifique et technique
Service ressources minérales
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34