

# Le rhénium (Re) – éléments de criticité

		Sources
<b>1 - USAGES ET CONSOMMATION</b>		
1.1 - Principaux usages dans le Monde (2014)	- Superalliages à base de nickel (aéronautique et espace, turbines à gaz industrielles) : 78% - Catalyseurs (pétrochimie): 14% - Autres (alliages à Mo-Re et W-Re): 8%	USGS 2014 Panorama BRGM Roskill 2010
1.2 - Principaux usages en Europe (2014)	Proportions exactes non disponibles (cf. répartition mondiale)	
1.3 - Principales applications dans les domaines de haute technologie	Superalliages pour l'aéronautique (turboréacteurs), l'espace, les turbines à gaz, etc.	Panorama BRGM
1.4 - Applications dans le domaine de l'énergie	- Superalliages pour turbines à gaz industrielles ; - Catalyseurs à Pt-Re pour le raffinage du pétrole et fabrication des composés BTX (benzène-toluène-xylène) - Promoteurs dans les catalyseurs à Co utilisés dans les procédés GTL (gas-to-liquid).	Panorama BRGM
1.5 - Consommation (2014)	Environ 57 t	USGS
1.6 - Perspectives d'évolution de la consommation mondiale	La demande en superalliages pour les industries aérospatiales devrait continuer à croître, mais les prix élevés du Re avaient conduit certains constructeurs à utiliser des superalliages sans rhénium (substitutions). La demande en catalyseurs pour l'industrie pétrolière devrait rester stable. Roskill estime que la demande pourrait atteindre 85 t en 2018 et se stabiliser.	Panorama BRGM USGS www.mining.com Roskill
<b>2 - PRODUCTION MONDIALE ET RESSOURCES</b>		
2.1 - La substance est-elle un sous-produit	Oui	
2.2 - Métaux principaux dont la substance est un sous-produit ou co-produit	Le rhénium est partiellement un sous-produit du cuivre (Pologne, Kazakhstan). Il est surtout, majoritairement, un sous-produit du molybdène, en particulier celui des gisements de type porphyry (Chili, USA) dans lequel le molybdène est lui-même extrait comme co- ou sous-produit du cuivre. Les concentrés de molybdène issus des porphyrys à cuivre chiliens peuvent contenir entre 200 et 500 ppm Re.	
2.3 - Production minière mondiale (2014)	Il n'y a pas de mines de rhénium, la production primaire est métallurgique, à partir de concentrés de molybdène ou de cuivre. La production métallurgique primaire a été d'environ 37,2 t (Re contenu) en 2014.	WMD
2.4 - Principaux pays producteurs miniers en 2014	Cf. 2.3 et 2.9. La production métallurgique primaire est réalisée essentiellement dans les pays d'où sont extraits les concentrés traités et donc correspond à peu près à la production minière. Cette production est répartie comme suit (2014) : Chili 49% ; Etats-Unis 23% ; Pologne 14%.	WMD
2.5 - Concentration géographique de la production minière	Concentration modérée. IHH de 0,31 en 2014.	WMD
2.6 - Variation sur 10 ans de la concentration de la production minière mondiale	La concentration de la production a peu évolué au cours des 10 dernières années (IHH de 0,36 en 2004).	WMD
2.7 - Production métallurgique mondiale primaire en 2014	Environ 37,2 t (Re contenu)	WMD
2.8 - Production métallurgique mondiale secondaire en 2014	Environ 26 t (Re contenu) dont 10 t de rhénium récupérées à partir de déchets de superalliages et 16 t à partir des catalyseurs usagés, cette dernière part étant surtout réutilisée directement dans l'industrie des catalyseurs.	USGS
2.9 - Principaux pays producteurs métallurgiques	- Production primaire (2014) : Chili 49% ; Etats-Unis 23% ; Pologne 14% - Production secondaire (2009) : Allemagne 32%, Etats-Unis 32%, Russie 27%	WMD ; Roskill 2010 ; Panorama BRGM
2.10 - Concentration géographique de la production métallurgique	- Production primaire (2014) : concentration moyenne (IHH de 0,31) ; - Production secondaire (2009) : concentration moyenne (IHH de 0,28).	
2.11 - TCAM lissé sur 5 ans de la production minière sur 30 ans (1984-2014)	+ 4,4% / an	USGS
2.12 - TCAM lissé sur 2 ans de la production minière sur 10 ans (2005-2015)	+ 0,9% / an	USGS
2.13 - Réserves connues en 2015	2 500 t (67 ans au rythme de production de 2014).	USGS 2016
2.14 - Evolution des réserves	- Réserves USGS en 1996 : > 100 ans de la production de 1996 - Réserves USGS en 2015 : 67 ans de la production de 2014	USGS
2.15 - Principaux pays détenteurs de réserves	Chili 53% ; Etats-Unis 16% ; Russie 13%	USGS 2016
2.16 - Concentration géographique des réserves minières	Concentration modérée des réserves (IHH de 0,33 en 2015)	
2.17 - Perspectives d'évolution de la production	La production primaire de rhénium est surtout liée à celle du molybdène et <i>pro parte</i> à celle du cuivre. Elle devrait donc pouvoir connaître, comme celle de ces derniers métaux, une croissance modérée. La part de production secondaire est passée de 9% de la production totale en 2000 à environ 25% en 2014, et elle pourrait croître encore un peu avec l'augmentation des flux de produits contenant des superalliages arrivant en fin de vie et l'efficacité de récupération du rhénium.	Panorama BRGM Roskill 2010 USGS

		Sources
<b>3 - SUBSTITUABILITE</b>		
3.1 - Potentiel de substitution dans les principaux usages	En raison de la volatilité du prix du rhénium (prix passé de 1 400 US\$/kg en 2005 à 11 400 US\$/kg en oct.2008 pour redescendre aux environs de 1 700 US\$/kg en 2016) et de ses aléas de disponibilité, nombre de fabricants de réacteurs sans turbines et d'utilisateurs ont migré vers des superalliages sans rhénium (Safran) ou avec moins de rhénium (General Electric, avec alliages à 1,5% à 3% Re au lieu de 6% auparavant). Dans certains catalyseurs, le rhénium peut être remplacé par d'autres métaux (Ir, Sn, Ga, Ge, In, Se, W, V etc.). Enfin, dans quelques autres applications spécifiques, il existe des alternatives au rhénium : Co/W dans les tubes à rayon X, Rh/Ir pour les couples thermoélectriques, W/Pt-Ru dans les contacteurs électriques.	Panorama BRGM Roskill 2010 USGS
<b>4 - RECYCLAGE</b>		
4.1 - Taux de recyclage	Compte tenu de sa rareté et de son prix élevé, le rhénium est relativement bien recyclé. Pour 2010, l'UNEP (Graedel et al., 2011) estimait le taux de recyclage du rhénium en fin de vie à >50%, et le contenu de la production en matériau secondaire ("recycled content") à 10 à 25%. Pour 2014, le contenu de la production en matériau secondaire est estimé à 41% (26 t de rhénium secondaire pour 37,2 t de primaire) si on intègre la part de catalyseurs directement recyclés en catalyseurs.	UNEP 2011 ; Roskill 2015 USGS 2014 ; Panorama BRGM
<b>5 - PRIX</b>		
5.1 - Etablissement des prix	Pas de cotation sur les marchés boursiers. Prix établis par négociation directe de contrats entre vendeurs et acheteurs. Quelques traders interviennent via la Minor Metals Trade Association (MMTA) à Londres. Fourchettes de prix spot publiées 2 fois par semaine par Metal Bulletin et Metal-Pages	
5.2 - Prix moyen en 2016 (janvier à novembre)	- Rhénium métal : pellets à 99,9% Re (EU) : 1 842 US\$/kg - Perrhénate d'ammonium ("APR") basic grade, 69,2% Re (EU) : 1 183 \$/kg - Perrhénate d'ammonium ("APR") catalyst grade, >69,4% Re (EU) : 2 513 \$/kg	Metal Pages
5.3 - Ecart-type relatif des prix sur 1 an (déc.2015-nov.2016)	- Rhénium métal : pellets à 99,9% Re (EU) : +/-5,9% - Perrhénate d'ammonium ("APR") basic grade, 69,2% Re (EU) : +/-9,1% - Perrhénate d'ammonium ("APR") catalyst grade, >69,4% Re (EU) : +/-6,8%	Metal Pages
5.4 - Evolution du prix sur 1 an (moyenne déc.2015-nov.2016/moyenne déc.2014-nov.2015)	- Rhénium métal : pellets à 99,9% Re (EU) : -19,5% - Perrhénate d'ammonium ("APR") basic grade, 69,2% Re (EU) : -19,8% - Perrhénate d'ammonium ("APR") catalyst grade, >69,4% Re (EU) : -5,3%	Metal Pages
5.5 - Evolution du prix depuis 2004-2005 (moyenne janv.-nov.2016 / moyenne sep.2004-août 2005)	+28% (Rhénium métal : pellets à 99,9% Re (EU)). NB : Metal-Pages ne compile les prix du rhénium que depuis fin août 2004.	Metal Pages
5.6 - Ordre de grandeur de la valeur de marché de la production métallurgique annuelle	<b>Environ 69 M€</b> (37,2 kt (production primaire 2014) x 1842 €/kg (prix moyen 2016))	
<b>6 - RESTRICTIONS AU COMMERCE INTERNATIONAL, REGLEMENTATIONS</b>		
6.1 - Restrictions au commerce international	Pas de restrictions de la part des pays producteurs majeurs	
6.2 - Réglementation REACH	Le rhénium et les composés du rhénium n'ont pas d'obligations d'enregistrement avant 2018. Néanmoins, 6 substances ont déjà été enregistrées par le Consortium des Métaux Précieux et du Rhénium.	ECHA
<b>7 - PRODUCTION FRANCAISE ET RESSOURCES</b>		
7.1 - Production minière française 2015	0	
7.2 - Production minière française historique	0	
7.3 - Part dans la production minière mondiale 2015	0%	
7.4 - Ressources évaluées en France métropolitaine	Aucun indice géologique porteur de rhénium connu à ce jour. Quelques gîtes contenant du molybdène (et donc éventuellement du rhénium en traces) existent : - Beauvain (61) : porphyry à Cu-Mo érodé. Ressource de 42 kt Mo à une teneur de 0,02% Mo ; - Breitenbach (67) : petit indice de molybdène de type porphyry ; - Château-Lambert (70) : production de 37 t de Mo entre 1942 et 1944 (diorite).	Panorama BRGM Mineralinfo
7.5 - Production métallurgique française	Non publiée (de l'ordre de 100 kg ?)	
<b>8 - LA FILIERE INDUSTRIELLE EN FRANCE</b>		
8.1 - Entreprises minières françaises	0	
8.2 - Entreprises métallurgiques en France	- Eurotungstène Poudres (38, Grenoble, www.eurotungstene.com), filiale d'Eramet*, recycle les superalliages contenant du rhénium pour produire du rhénium sous forme de métal, de poudre ou de perrhénate d'ammonium (APR). La capacité annuelle de production serait inférieure à 100 kg/an. *En décembre 2016, un accord de cession d'Eurotungstène par Eramet au belge Umicore a été signé, la cession effective devrait intervenir au 1er semestre 2017.	Panorama BRGM Roskill 2010
8.3 - Entreprises de produits intermédiaires en France	- Axens (92, Reuil-Malmaison, www.axens.net) est un acteur important dans le secteur de la catalyse. - Quelques entreprises pourraient utiliser des superalliages contenant du rhénium : Alstom Power France, Thales, Safran, Riber SA	Panorama BRGM Roskill 2010
8.4 - Industries françaises aval dépendantes de cette matière première	Industries aéronautique et spatiale, motoristes, industrie pétrochimique, électronique, production d'électricité	

		Sources
<b>9 - COMMERCE EXTERIEUR ET CONSOMMATION FRANCAISE</b>		
9.1 - Commerce extérieur français	La nomenclature douanière fusionne les données d'importation et d'exportation du rhénium avec celles du niobium. Le marché global du rhénium étant de l'ordre de 0,1% de celui du niobium en masse (57 t annuelles pour Re vs environ 55 kt annuelles pour Nb), les tonnages fusionnés ne permettent pas d'estimer les tonnages de rhénium échangés ni leur valeur.	Le Kiosque de Bercy
9.2 - Consommation française apparente en 2015 (production + imports - exports)	Non calculable.	
9.3 - Recyclage en France	Dépend de la production d'Eurotungstène Poudres donc probablement inférieure à 100 kg/an	
<b>10 - DIVERS</b>		
10.1 - Panorama BRGM disponible ?	Oui, Panorama BRGM 2010 publié en 2011	<a href="http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60205-FR.pdf">http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60205-FR.pdf</a>
10.2 - Remarques spécifiques		

Acronymes : ECHA : European Chemicals Agency ; IHH : Indice d'Herfindahl-Hirschmann ; REACH : Registration, Evaluation and Authorization of Chemical ; TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen ; USGS : United States Geological Survey ; WMD : World Mining Data (Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Autriche)

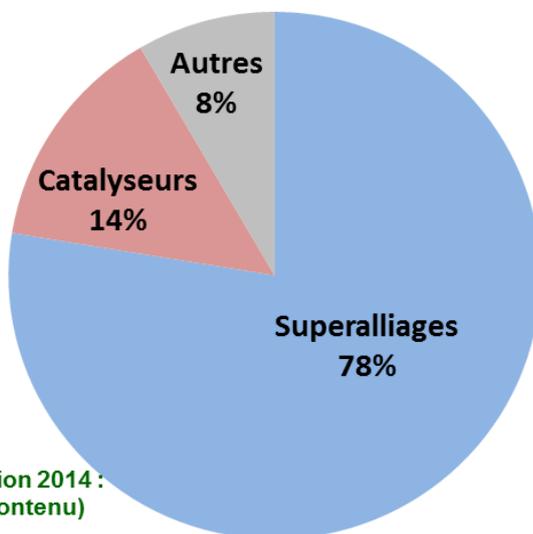
Note : Détails et explications sur l'obtention et la lecture des champs à consulter sur le rapport BRGM/RP-64269-FR

## Le rhénium en graphiques

### USAGES

#### Usages du rhénium en 2014 par produit intermédiaire

Sources : BRGM, Roskill, USGS

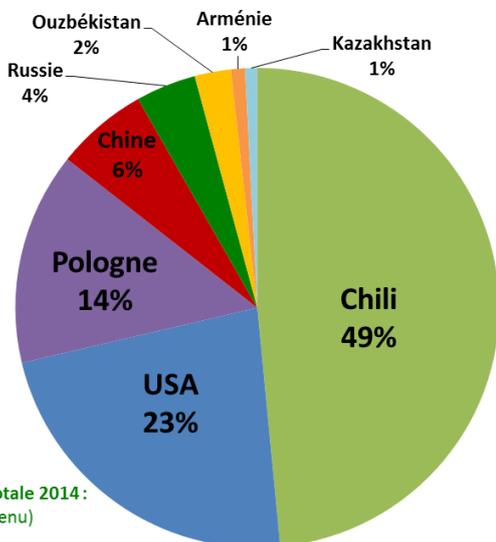


Consommation 2014 :  
57 kt (Re contenu)

### PRODUCTION ET RESERVES MONDIALES

#### Répartition de la production de rhénium primaire en 2014

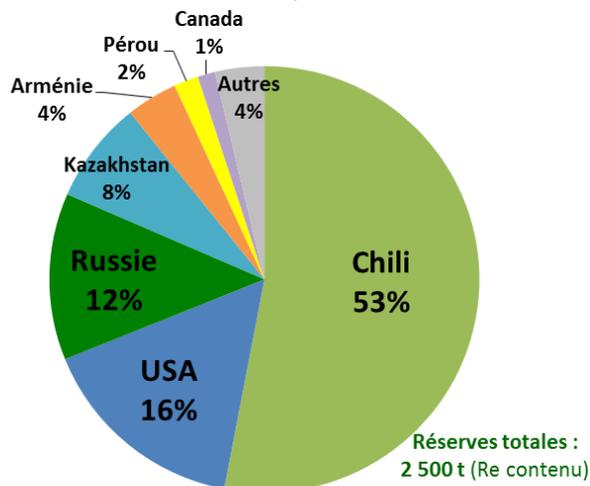
Source : WMD, 2016



Production primaire totale 2014 :  
37,2 kt (Re contenu)

#### Répartition des réserves de rhénium en 2015

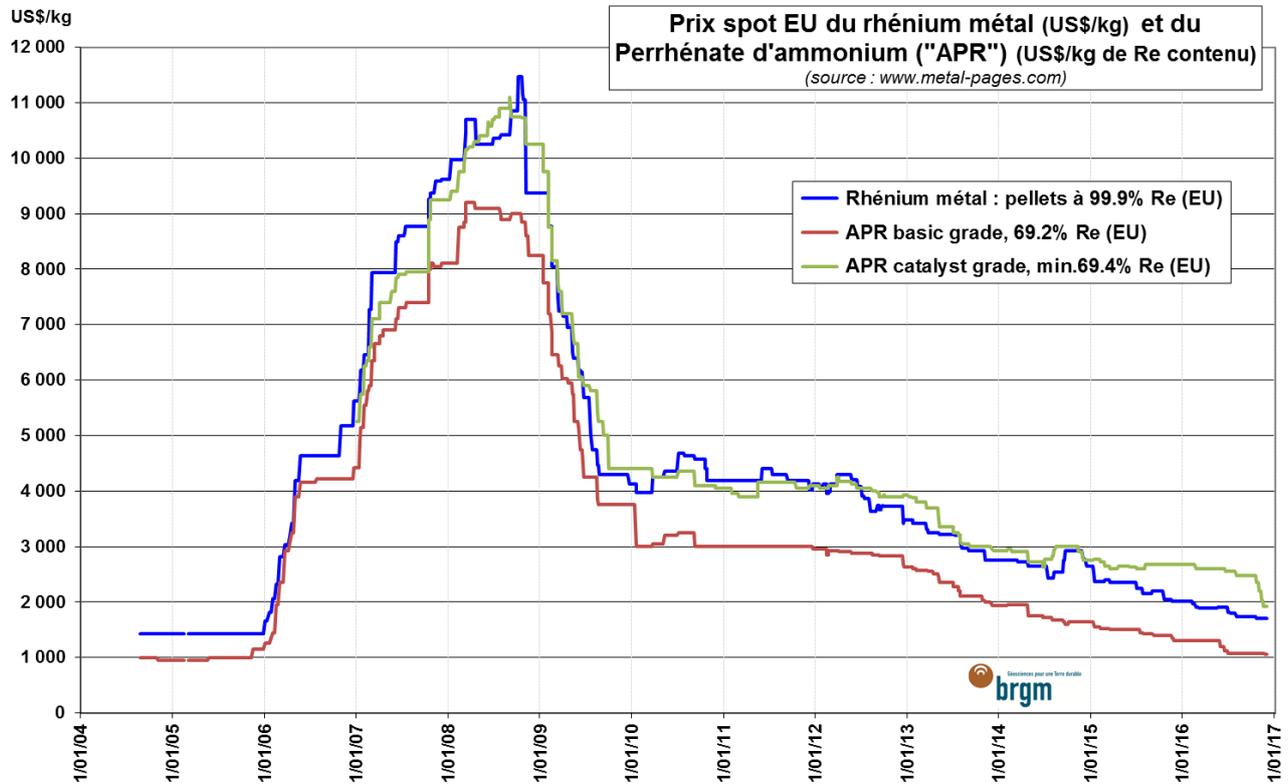
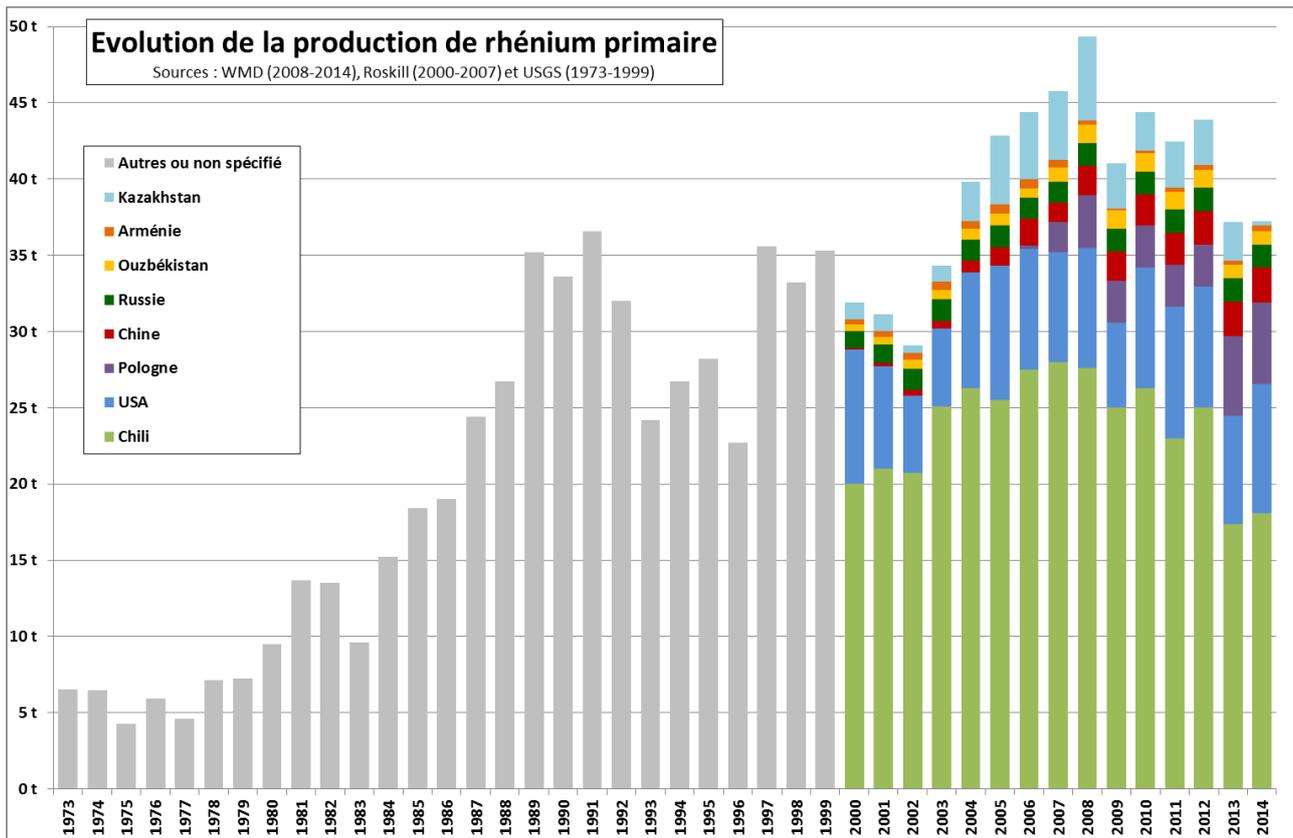
Source : USGS, 2016



Réserves totales :  
2 500 t (Re contenu)

NB : les réserves de la Chine, de la Pologne et de l'Ouzbékistan ne sont pas renseignées, faute de données

## EVOLUTION DE LA PRODUCTION ET DES PRIX



## COMMERCE EXTERIEUR DE LA FRANCE

NB - Il n'existe pas de données publiques spécifiques sur le commerce extérieur du rhénium de la France. En effet, la nomenclature douanière actuelle fusionne les données d'importation et d'exportation du rhénium avec celles du niobium. Le marché global du rhénium étant de l'ordre de 0,1% de celui du niobium en masse (57 t annuelles pour Re vs environ 55 kt annuelles pour Nb), les tonnages fusionnés ne permettent pas d'estimer les tonnages de rhénium échangés ni leur valeur.

Les échanges combinés niobium-rhénium sont néanmoins présentés ci-dessous à titre indicatif, mais sans interprétation possible pour le commerce du rhénium.

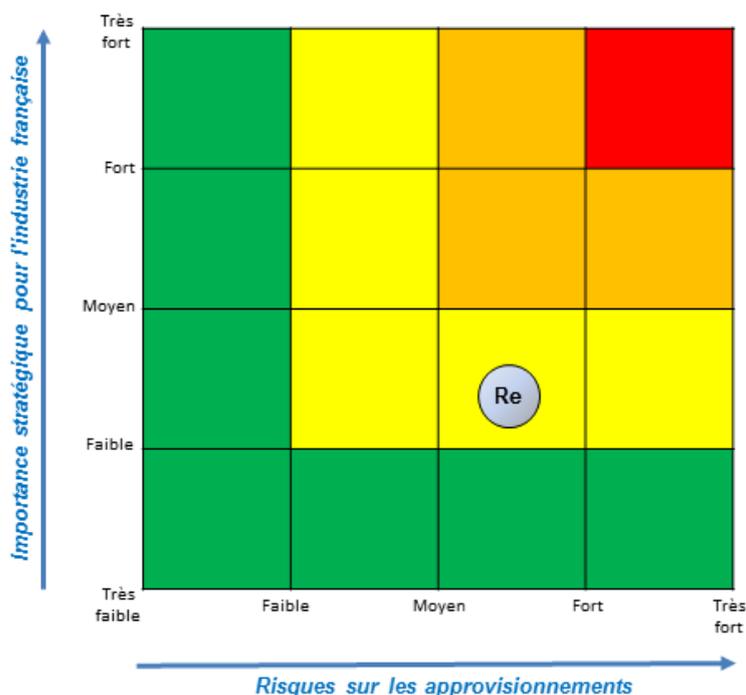
### Statistiques françaises d'import-export de produits bruts et intermédiaires mentionnant le rhénium

Données brutes de collecte, CAF-FAB hors matériel militaire. Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2014			2015			Evolution 2014-2015		Principaux partenaires en 2015 (% des tonnages)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
<b>Niobium et rhénium sous forme brute; poudres de niobium ou de rhénium (81129231)</b>									
Exportations	856 k€	0 t*		1 096 k€	3 t	365.3 €/kg	28.0%		Pays-Bas 100%
Importations	19 880 k€	400 t	49.7 €/kg	17 632 k€	449 t	39.3 €/kg	-11.3%	12.3%	Brésil 75%, Allemagne 18%
Solde	-19 024 k€	-400 t		-16 536 k€	-446 t				
<b>Ouvrages en niobium ou en rhénium (81129930)</b>									
Exportations	7 k€	0 t*		40 k€	0 t*		471.4%		
Importations	2 825 k€	53 t	53.3 €/kg	2 463 k€	49 t	50.3 €/kg	-12.8%	-7.5%	Belgique 69%, Allemagne 29%
Solde	-2 818 k€	-53 t		-2 423 k€	-49 t				
<b>Déchets et débris de niobium, rhénium, gallium, indium, vanadium et germanium (81129221)</b>									
Exportations	99 k€	3 t	33.0 €/kg	196 k€	22 t	8.9 €/kg	98.0%	633.3%	Allemagne 100%
Importations	77 k€	0 t*		90 k€	1 t	90.0 €/kg	16.9%		Royaume-Uni 100%
Solde	22 k€	3 t		106 k€	21 t				
<b>Cumul des produits bruts et intermédiaires mentionnant le rhénium</b>									
Solde	-21 820 k€	-450 t		-18 853 k€	-474 t		-13.6%	5.3%	

\* Le Kiosque arrondit les masses à la tonne. "0 t" signifie que les masses exportées sont inférieures à 500 kg.

## CRITICITE DU RHÉNIUM



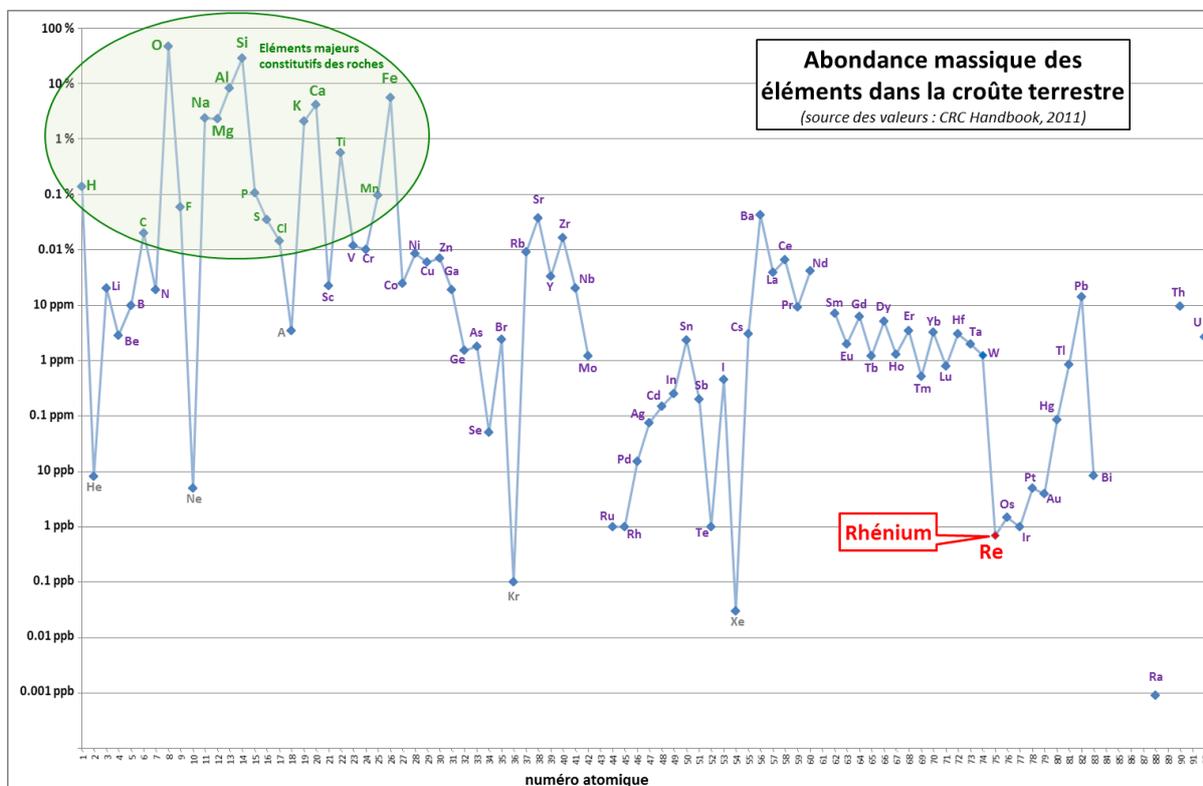
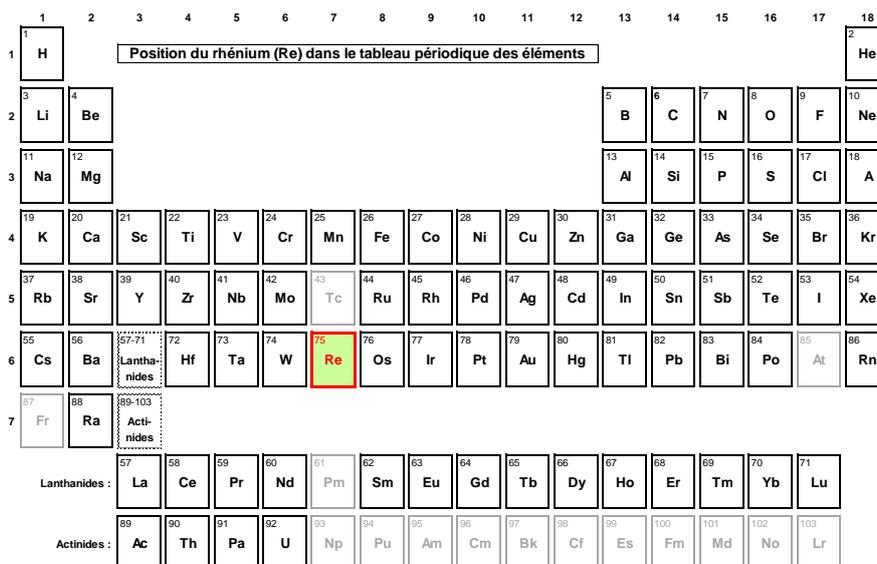
# LE RHÉNIUM, PROPRIETES

## Quelques propriétés du rhénium

Numéro atomique : 75  
 Masse atomique : 186,2  
 Température de fusion : 3 180 °C  
 Température d'ébullition : 5 596 °C  
 Densité : 20,8  
 Dureté Mohs : 7  
 Abondance naturelle : 0,7 ppb

Le rhénium, un métal de transition blanc argenté a été le dernier élément naturel stable découvert (1925). C'est l'un des éléments les plus rares de l'écorce terrestre. Il est très réfractaire (métal ayant le deuxième point de fusion le plus élevé après le tungstène).

En raison de ses propriétés, le rhénium est principalement utilisé dans les superalliages à base de nickel pour usages à haute température, et comme catalyseur dans l'industrie chimique.



## AVERTISSEMENT

Les informations, chiffres et graphiques figurant dans la présente "fiche de synthèse sur criticité" sont extraites de bases données construites à partir des meilleures sources ouvertes de données, internationalement reconnues. Certaines sont gratuites, d'autres ne sont accessibles que sur abonnement. Les sources utilisées sont précisées sur chaque fiche.

Il faut cependant savoir que de nombreux problèmes affectent la qualité des données disponibles sur l'industrie minérale mondiale et sur les nombreux maillons des chaînes de valeur qui en dépendent. Certains pays, parmi lesquels la Chine, aujourd'hui le principal producteur mondial de 28 matières premières minérales, ne publient guère de données statistiques relatives à leur industrie minérale, et les données qui sont publiées ne sont pas toujours vérifiables. Dans certains pays, des règles interdisent la publication de données de production ou de réserves lorsque cette publication pourrait divulguer des données considérées comme confidentielles par des entreprises productrices, dès lors que le nombre restreint de producteurs nationaux est restreint au point que la publication des données de production pourrait amener à dévoiler la stratégie industrielle de ces producteurs. C'est le cas par exemple aux États-Unis et en France. Toutes les entreprises n'ont pas non plus les mêmes obligations de rapportage de leurs activités, ces obligations étant très faibles ou nulles pour les entreprises non cotées en bourse, financées par des capitaux privés ("private equity"). Et tous les États n'imposent pas non plus les mêmes obligations de transparence aux entreprises établies sur leurs territoires.

Certaines données de production, consommation ou échanges proviennent des statistiques du commerce mondial, basées sur la nomenclature statistique internationale des produits définie par l'Organisation Mondiale des Douanes, et sur les déclarations d'importations et d'exportations fournies par les douanes de chaque pays, centralisées dans la base de données "Comtrade" des Nations Unies. Ces données sont cependant, elles aussi, délicates à utiliser ou à interpréter : certains chiffres relatifs aux exportations et aux importations mondiales ne se correspondent pas, certains pays ne fournissent pas leurs informations. De plus, ces données ne fournissent pas d'indications sur la consommation intérieure de minéraux et métaux produits à l'intérieur d'un même pays.

Cette situation complique les analyses pour certaines matières premières, notamment pour les métaux utilisés pour des applications de haute technologie. La fiabilité de certaines données peut être douteuse lorsque celles-ci proviennent de simples déclarations par les autorités de pays producteurs interrogés pour calculer le montant des réserves de telle ou telle matière première minérale.

L'existence d'un marché noir de certaines matières premières est également à prendre en compte. C'est probablement le cas d'une petite partie de la production chinoise, mais aussi des pays limitrophes (Birmanie, etc.).

Ces limitations peuvent cependant être parfois contournées en recoupant plusieurs sources d'information.

De même, les prix des métaux rares et des minéraux industriels ont des degrés de précision et de fiabilité divers. Seuls les métaux de base (Al, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, Co, Mo) et les métaux précieux (Au, Ag, Pt, Pd, Rh) font l'objet de cotations quotidiennes sur les marchés boursiers. Les autres métaux font l'objet de commercialisations dans le cadre de contrats de gré à gré entre producteurs et acheteurs, qui peuvent être des maisons de négoce. Les prix de transaction ne sont pas rendus publics. Des sources d'information spécialisées, accessibles uniquement sur abonnement, telles qu'Industrial Minerals (pour les minéraux industriels), Metal-Pages, Metal Bulletin ou Platts fournissent des fourchettes de prix de transactions pour une vaste gamme de matières premières minérales. L'évolution de ces prix, qui peuvent ne représenter qu'une faible partie du marché réel, est la principale source d'information sur l'évolution de l'offre et de la demande.

Ainsi malgré tout le soin que le BRGM peut apporter à l'utilisation et au traitement des données et des informations auxquelles il a accès, les chiffres doivent le plus souvent être considérés comme des ordres de grandeur. Ce sont les évolutions temporelles, les dynamiques qui traduisent le mieux les marchés et leurs évolutions. En cas d'enjeux économiques importants pour une entreprise, il est fortement recommandé de faire appel à une ou plusieurs expertises externes.

En tout état de cause le BRGM et le COMES déclinent toute responsabilité relative aux dommages directs ou indirects, quelle qu'en soit la nature, que pourrait subir un utilisateur des fiches du fait de décisions prises au vu de leur contenu. L'utilisation des informations fournies est de l'entière responsabilité des utilisateurs.