

## RHENIUM 2024

### Matières premières

La teneur de l'écorce terrestre est comprise entre 0,7 et 7 ppb, soit de 0,7 à 7 mg/t.

Le rhénium (Re) est principalement présent dans la molybdénite ( $\text{MoS}_2$ ), elle même présente dans les gisements sulfurés de [cuivre](#) de type porphyrite, présents en Amériques du Nord et du Sud. La concentration en rhénium de la molybdénite peut atteindre de 250 à 700 ppm, soit de 250 à 700 g/t. En conséquence, le rhénium est principalement un coproduit de la production du [molybdène](#), lui même coproduit de la production de [cuivre](#).

Le rhénium est également présent dans des gisements de cuivre sédimentaires, par exemple au Kazakhstan, en Ouzbékistan, en Russie, en Arménie, en Pologne. Dans ces minerais, pauvres en molybdène, la teneur en rhénium peut atteindre, par exemple, en Pologne, de 1,22 à 1,68 g de Re/t et après concentration, de 8,2 à 12,5 ppm dans les concentrés de cuivre.

### Productions minières

#### Production minière de rhénium

*En 2024, en kg, sur un total mondial de 62 000 kg, hors Russie. Source : USGS*

en kg

Chili	29 000	Ouzbékistan	5 000
États-Unis	9 500	Corée du Sud	3 000
Pologne	9 400	Kazakhstan	500
Chine	5 300	Arménie	200

*Source : USGS*

- La production chilienne est principalement transformée sur place par [Molymet](#) ou exportée.
- En 2020, aux États-Unis, des concentrés de molybdénite renfermant du rhénium sont produits dans 6 mines de cuivre et de molybdène dont 4 dans l'Arizona, une dans le Montana et une dans l'Utah. Les concentrés sont traités dans deux installations de grillage, à Sierrita, dans l'Arizona, exploitée par [Freeport McMoRan](#) et à Langeloth, en Pennsylvanie, exploitée par Thompson Creek qui a été racheté, en octobre 2016, par [Centerra Gold](#).
- En Pologne, la production, associée à celle de cuivre, est assurée par [KGHM](#). Le rhénium est récupéré lors du grillage des concentrés de cuivre à Glogów pour donner du perrhénate d'ammonium qui est partie transformé en métal à Legnica.
- La production russe n'est pas connue.
- [Chinova Resources](#) (ex Inova et ex Ivanhoe Australia) dont Shanxi Donghui Coal Coking & Chemicals Group a pris le contrôle en décembre 2013, développe le projet Merlin de mine de molybdène-rhénium, en Australie, dans le Nord-Ouest du Queensland. Les réserves probables sont de 6,4 millions de t de minerai renfermant 1,5 % de Mo et 26 g de Re/t. La production prévues est de 5 100 t/an de Mo et 7 300 kg/an de Re. Le minerai extrait doit être traité dans le complexe, proche, de production de cuivre d'Osborne.

**Réserves** : en 2024. Monde : 2 400 t, en 2022.

en tonnes

Chili	1 300	Arménie	95
États-Unis	400	Pérou, en 2022	45

Russie	310	Canada, en 2022	32
Kazakhstan	190	Chine	19

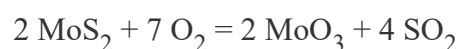
Source : USGS

## Fabrication industrielle

### Élaboration du perrhénate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{ReO}_4$ ) :

Les minerais sulfurés de [cuivre](#) sont traités par flottation différentielle pour donner d'une part des concentrés de cuivre et d'autre part des concentrés de molybdénite. Les concentrés de molybdénite, renfermant de 85 à 95 % de  $\text{MoS}_2$ , sont principalement traités par voie pyrométallurgique de grillage.

Les concentrés de molybdénite, lors de leur grillage entre 500 et 650°C, libèrent, dans les gaz issus du grillage, de l'oxyde de rhénium  $\text{Re}_2\text{O}_7$  sous forme de particules fines et de vapeur. La réaction de grillage est la suivante :



Le barbotage dans l'eau de ces gaz donne une solution acide, renfermant le rhénium en solution sous forme d'ions  $\text{ReO}_4^-$ . Le taux de récupération du rhénium est d'environ 60 %.

Lorsque le [molybdène](#) n'est pas récupéré, comme dans le traitement des minerais de [cuivre](#) polonais, le rhénium contenu est présent dans les gaz issus du grillage des concentrés de cuivre. Il est récupéré également par barbotage dans de l'eau, pour donner une solution dont la teneur varie entre 20 et 60 mg de Re/L.

Les solutions issues du grillage des concentrés de molybdénite ou de cuivre sont purifiées en précipitant les sulfures contenus par augmentation du pH à l'aide de [soude](#) puis le rhénium est extrait à l'aide de résines échangeuses d'ions et récupéré par élution à l'aide d'[ammoniac](#).

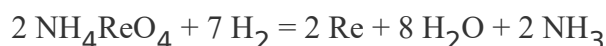
Le rhénium, de nombre d'oxydation +7, contenu dans la solution d'élution est :

- soit précipité par [HCl](#) et [H<sub>2</sub>S](#) pour donner du sulfure de rhénium ( $\text{Re}_2\text{S}_7$ ) qui après filtration est dissous dans de l'[eau oxygénée](#) pour donner du perrhénate d'ammonium (APR :  $\text{NH}_4\text{ReO}_4$ ),
- soit récupéré par évaporation de la solution et cristallisation.

Le perrhénate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{ReO}_4$ ), dénommé APR est l'une des principales formes de commercialisation du rhénium.

### Élaboration du rhénium métallique :

Pour des applications dans l'élaboration d'alliages métalliques et en particulier de [superalliages](#), le perrhénate d'ammonium ou l'acide perrhénique est réduit en rhénium, vers 850°C, par le [dihydrogène](#) selon la réaction suivante :



Après pressage, la poudre obtenue est frittée, vers 1100°C, sous atmosphère de dihydrogène. La pureté obtenue est de 99,9 %.

**Principaux producteurs** : en 2013, sur une production mondiale de 44 950 kg.

		en kg	
<a href="#">Molymet</a> (Chili)	21 250	<a href="#">Centerra Gold</a> (États-Unis)	1 000
<a href="#">Freeport McMoRan</a> (États-Unis)	8 000	Sarcheshmeh Copper (Iran)	1 000

<a href="#">KGHM</a> (Pologne)	7 000	<a href="#">ZCMC</a> (Arménie)	700
<a href="#">LS Nikko Copper</a> (Corée du Sud)	3 000	<a href="#">Navoi</a> (Ouzbékistan)	500
<a href="#">Jiangxi Copper</a> (Chine)	2 500		

Source : [Lipmann Walton](#)

- [Molymet](#), qui détient, en 2019, avec 40 000 kg/an 70 % des capacités mondiales de production de rhénium, produit du rhénium principalement à Nos, près de Santiago et à Mejillones, au Chili, à Gand, en Belgique et à Cumpas, dans l'État de Sonora, au Mexique. La société est approvisionnée en concentrés de molybdénite par les principaux producteurs de cuivre chiliens ([Codelco](#), [Anglo American](#), [Antofagasta](#) ...), péruviens, mexicains... En 2020, les ventes de rhénium ont porté sur 14 550 kg et celles de molybdène de 67 133 t.
- [Codelco](#), au travers de sa filiale [Molyb](#), a construit à Mejillones, au Chili, une usine d'une capacité de production de 16 000 t/an de Mo et 2 800 kg/an de Re qui a commencé à produire fin 2016.

## Recyclage

Le rhénium contenu dans les superalliages et les catalyseurs après usage est quasi systématiquement récupéré.

En 2020, la production mondiale à partir du recyclage est comprise entre 20 et 25 t.

Les principaux pays producteurs de rhénium secondaire sont l'Allemagne, les États-Unis, le Canada, la Russie, l'Estonie.

### Producteurs :

- En Allemagne : [Heraeus Precious Metals](#), à Hanau, [H.C. Starck](#), à Goslar, [Buss & Buss](#), à Sagard, en joint-venture avec Molycorp, avec une capacité de production de 2 000 kg/an.
- Aux États-Unis : Gemini Industries, à Santa Ana, en Californie, [BASF](#), [Colonial Metals](#), à Elkton, dans le Maryland, [Heraeus Precious Metals](#), à Santa Fe Springs en Californie.
- Au Canada : [Maritime House](#), à Napanee, dans l'Ontario, société achetée à Molycorp en mars 2014, avec une capacité de production de 2 000 kg/an.
- En Russie : [AS Nordmet](#).
- En Estonie : [Toma Group](#), à Tallinn.
- En Pologne : [Innovator](#), à Gliwice.

## Utilisations

### Quelques propriétés remarquables :

- Sa masse volumique, de 21,02 g/cm<sup>3</sup>, est plus élevée que celles de l'or et du tungstène.
- Sa température de fusion très élevée, 3 186°C, lui confère des propriétés réfractaires.
- Il résiste fortement à la corrosion.
- Il est particulièrement ductile.

**Consommations annuelles** : dans le monde, en 2018, 75 000 kg, dont 31 200 kg, en 2021, aux États-Unis.

En 2021, les importations des États-Unis sont de 15 900 kg de métal et 6 000 kg de perrhénate. Dans ce pays, entre 2018 et 2021, les importations de métal proviennent à 84 % du Chili, 8 % du Canada, 6 % d'Allemagne et celles de perrhénate d'ammonium à 27 % du Kazakhstan, 16 % de Pologne, 15 % du Canada, 15 % d'Allemagne.

**Secteurs d'utilisation** : en 2017.

## Superaliages 80 % Catalyse 15 %

Source : [Lipmann Walton](#)

Les superalliages à base nickel : le rhénium est un élément de composition de ces alliages pour la fabrication de pales monocristallines de turbines destinées à des turboréacteurs et à des turbines industrielles à gaz. Il permet d'accroître leur résistance thermique en particulier dans les zones proches de la chambre de combustion. Les nouveaux moteurs de Pratt & Whitney devant équiper la moitié des Airbus 320 Neo renferment par moteur 5,4 kg de rhénium. Exemples de composition, en % massique :

Alliages	<a href="#">Cr</a>	<a href="#">Co</a>	<a href="#">Mo</a>	<a href="#">W</a>	<a href="#">Ta</a>	<a href="#">Nb</a>	<a href="#">Al</a>	<a href="#">Ti</a>	Re	<a href="#">Hf</a>	<a href="#">Ru</a>
CMSX 10	2,0	3,0	0,4	5,0	8,0	0,1	5,7	0,2	6,0	0,03	–
Rene N6	4,2	12,5	1,4	6,0	7,2	–	5,7	–	5,0	0,1	–
MC-NG	4,0	–	1,0	5,0	5,0	–	6,0	0,5	4,0	0,1	0,1

Source : K. Leszczynska-Sejda, IMN

Les catalyseurs : des catalyseurs Pt-Re sont utilisés dans le reformage catalytique du [pétrole](#) afin d'augmenter l'indice d'octane des carburants, dans la fabrication du [benzène](#), du [toluène](#) et des [xylènes](#) ainsi que dans la fabrication de carburants à partir de [méthane](#).

### Autres utilisations :

- Dans la composition de résistances de fours électriques.
- Dans les thermocouples W-Re permettant de mesurer des températures jusqu'à 2 300°C sous vide ou atmosphère de [dihydrogène](#). Les compositions des fils sont de 3 à 5 % de Re pour l'un, 25 à 26 % de Re pour l'autre.
- Comme élément d'alliage du [tungstène](#) ou du [molybdène](#) dans les anode tournantes de tubes de production de rayons X destinés aux radiographies. L'ajout du rhénium permet d'augmenter la ductilité et la résistance au fluage de ces métaux. La teneur en Re de l'alliage Mo-Re peut atteindre 50 % en poids, celle de l'alliage W-Re, 27 %.