

MOLYBDENE 2024

Matières premières

La teneur en molybdène (Mo) de l'écorce terrestre est de 1,2 ppm.

Le molybdène, dans ses gisements, se présente généralement sous forme de sulfure, la molybdénite, MoS_2 , souvent associé au [cuivre](#) et parfois, en Chine, au [tungstène](#). Il est présent dans des veines de [quartz](#). Du [rhénium](#), accompagne le molybdène dans ses minerais. Il est, en général, récupéré car c'est la principale source de ce métal.

Productions minières

Le sulfure de molybdène est extrait soit de mines de molybdène, particulièrement aux États-Unis et en Chine pour environ 28 % de la production mondiale, soit est coproduit dans des mines de [cuivre](#), par exemple, aux États-Unis, au Chili, au Pérou..., pour 72 % de la production mondiale. La teneur des mines de molybdène (Mo) est comprise entre 0,1 et 0,3 % de Mo, celle des mines de cuivre coproduisant du molybdène comprise entre 0,02 et 0,2 % de Mo.

Les exploitations minières sont le plus souvent à ciel ouvert. Les minerais extraits sont broyés puis concentrés par flottation différentielle dans des installations proches de la mine qui donnent des concentrés de molybdénite contenant de 85 à 92 % de MoS_2 . Lorsque la molybdénite est coproduite de mines de [cuivre](#), le concentré peut contenir du [rhénium](#) (Re) à des teneurs inférieures à 0,1 % de Re.

Production minière de molybdène

En 2024, en milliers de t de molybdène contenu, sur un total mondial de 254 400 t. Source : Cochilco

	en t de Mo contenu		
Chine	90 000	Russie	10 800
Pérou	41 900	Arménie	8 700
Chili	38 500	Iran	4 900
États-Unis	34 000	Kazakhstan	4 100
Mexique	17 100	Mongolie	2 600

Sources : Cochilco

En 2024, la production mondiale est de 254 400 t.

Parmi les principaux pays producteurs on trouve les principaux producteurs de [cuivre](#) qui coproduisent du molybdène. Le cas de la Chine est particulier car elle coproduit du molybdène avec du tungstène mais aussi c'est le seul pays à exploiter souterrainement des shales noirs de molybdène et [nickel](#) contenant en moyenne 5,5 % de Mo et 3,5 % de Ni. En Chine, les mines de molybdène sont situées dans les provinces du Henan, du Shaanxi, de Mongolie Intérieure, du Hebei...

La production chilienne est réalisée, en 2024 à :

- 41,8 % par Codelco, voir ci-dessous,
- 21,8 % par la mine de [Los Pelambres](#) contrôlée à 60 % par [Antofagasta](#) et 40 % par des intérêts japonais dont Mitsubishi, voir ci-dessous,

- 10,3 % par la mine de [Collahuasi](#) contrôlée à 44 % par Anglo American, 44 % par [Glencore](#) et 12 % par des intérêts japonais,
- 8,3 % par la mine de [Caserones](#) détenue par le groupe japonais [JX Nippon Mining & Metals](#),
- 7,3 % par la mine de [Sierra Gorda](#) contrôlée à 55 % par [KGHM](#) et à 45 % par Sumitomo,
- 6,3 % par la mine de [Centinela](#) contrôlée à 70 % par Antofagasta et à 30 % par le groupe japonais [Marubeni](#),
- 4,3 % par Anglo American Sur, avec les mines de Los Bronces et El Soldado, contrôlée à 50,1 % par [Anglo American](#), 20,4 % par Mitsubishi, 20 % par Codelco et 9,5 % par Mitsui,
- 1,7 % par la mine de Spence, contrôlée par BHP Billiton.
- 1,7 % par la mine de Quebrada Blanca contrôlée à 60 % par Teck, 30 % par Sumitomo et 10 % par Codelco.
- 1,5 % par Valle Central, contrôlée par [Amerigo Resources](#), qui exploite les rejets récents et historiques de la mine souterraine d'El Teniente.

Aux États-Unis, avec une capacité de production de 85 900 t/an, il y a 2 mines primaires d'extraction de molybdène, dans le Colorado et 7 mines de cuivre coproductrices de molybdène, 4 dans l'Arizona et une dans chacun des États suivants : Montana, Nevada et Utah. En 2022, la coproduction des mines de cuivre des États-Unis représentait 67 % de la production totale du pays. A côté des mines exploitées par [Freeport McMoRan Copper & Gold](#) (FCX) et [Rio Tinto](#), voir ci-dessous, les autres mines en activité sont les suivantes :

- Pinto Valley, à ciel ouvert, près de Miami, dans l'Arizona, acquise en octobre 2013 auprès de BHP par [Capstone](#) avec, en 2024, une production de 57 272 t de Cu ainsi que des concentrés de molybdène avec 136 t de Mo contenu et des réserves prouvées et probables de 320 millions de t d'un mineraï titrant 0,32 % de Cu et 0,007 % de Mo.
- Robinson, à ciel ouvert, dans le comté de White Pine, dans le Nevada, exploitée par [KGHM](#), avec, en 2024, une production de 55 900 t de Cu, 1,31 t de métaux précieux et, en 2020, 181 t de Mo.
- Continental Pit, à ciel ouvert, à Butte, dans le Montana, exploitée par [Montana Resources](#).

Réserves minières

Les réserves minière mondiale représentaient, en 2024, 15 millions de t.

en milliers de t			
Chine	5 900	Australie	690
États-Unis	3 500	Arménie	150
Pérou	1 900	Mexique	130
Chili	1 400	Argentine	100
Russie	1 100	Canada	64

Source : USGS

Producteurs miniers

Les principaux producteurs sont :

- [Freeport McMoRan Copper & Gold](#) (FCX), a produit, en 2024, 36 290 t de molybdène avec 2 mines de molybdène aux États-Unis, dans le Colorado, Climax et Henderson :
 - La mine Climax a commencé à produire, à ciel ouvert, en mai 2012, avec une production en 2024, de 8 165 t de Mo et des réserves prouvées et probables, fin 2024, de 141 millions de t de mineraï renfermant 0,15 % de Mo, avec un taux de récupération de 88,8 %.
 - La mine souterraine d'Henderson a produit 5 440 t de Mo, avec des réserves

prouvées et probables de 44 millions de t de minerai à 0,16 % de Mo et un taux de récupération de 87,8 %.

ainsi que 3 mines de cuivre, à ciel ouvert, donnant une coproduction de molybdène, aux États-Unis, dans l'Arizona :

- Sierrita, avec 6 800 t de Mo et 74 800 t de Cu et des réserves de 2,206 milliards de t à 0,23 % de Cu, 1,10 g/t de Ag et à 0,03 % de Mo récupéré à 78,0 %.
- Bagdad, avec 5 900 t de Mo et 66 200 t de Cu et des réserves de 2,412 milliards de t à 0,35 % de Cu, 1,44 g/t de Ag et à 0,02 % de Mo récupéré à 77,1 %.
- Morenci, détenue à 72 %, avec une part de 940 t de Mo et 164 900 t de Cu et des réserves de 799 millions de t à 0,33 % de Cu et à 0,02 % de Mo récupéré à 44,1 %.

et une mine au Pérou :

Cerro Verde, détenue à 53,56 %, avec une part de 4 860 t de Mo et 230 000 t de Cu et des réserves prouvées et probables de 3,8 milliards de t de minerai renfermant 0,34 % de Cu avec un taux de récupération de 85,6 %, 0,01 % de Mo avec un taux de récupération de 54,4 % et 1,81 g/t de Ag avec un taux de récupération de 44,9 %.

Au total, fin 2024, les réserves prouvées et probables du groupe sont de 1,302 million de t de molybdène constituées à 79 % par les mines des États-Unis et 21 % par la mine de Cerro Verde.

Les revenus de Freeport proviennent, en 2023, à 75 % du cuivre, 15 % de l'or et 8 % du molybdène. La production de molybdène provient, en 2023, à 42 % des mines Climax et Henderson, 42 % des mines de cuivre des États-Unis et 17 % de la mine de Cerro Verde.

- Grupo Mexico, a produit dans ses mines de cuivre, au travers de sa filiale Southern Copper Corporation, détenue à 88,9 %, en 2024, 30 262 t de molybdène et 965 466 t de Cu dont :
 - au Mexique, dans l'État de Sonora,
 - 9 720 t de Mo et 126 980 t de Cu, à La Caridad avec des réserves prouvées et probables de 1,743 milliard de t de minerai renfermant 0,22 % de Cu et 0,037 % de Mo.
 - 5 890 t de Mo et 432 970 t de Cu, à Buenavista avec des réserves de 2,112 milliards de t à 0,27 % de Cu et 0,009 % de Mo.
 - au Pérou,
 - 8 970 t de Mo et 225 180 t de Cu, à Toquepala avec des réserves de 1,769 milliard de t de minerai à 0,47 % de Cu et 0,034 % de Mo.
 - 4 420 t de Mo et 164 860 t de Cu, à Cuajone avec des réserves de 1,5 milliard de t de minerai à 0,48 % de Cu et 0,017 % de Mo.
- Codelco, au Chili, a produit dans ses mines de cuivre, en 2024, un total de 15 300 t de molybdène, 1,442 million de t de cuivre, 545 t d'argent, 2,04 t d'or dont, en 2023 :
 - 10 869 t de Mo, 563 300 t de Cu, 253 t de Ag et 1,024 t de Au à Chuquicamata et Radomiro Tomic,
 - 4 673 t de Mo, 351 874 t de Cu, 85 t de Ag et 671 kg de Au à El Teniente,
 - 1 712 t de Mo, 164 545 t de Cu et 50 t de Ag à Andina,
- Jinduicheng Molybdenum, est le principal producteur chinois avec l'exploitation des mines

de molybdène à ciel ouvert de Jinduicheng et de Ruyang Donggou, dans le Shaanxi.

- China Molybdenum Co., en Chine, a produit, en 2024, 15 396 t de molybdène et 8 288 t de tungstène, dans trois mines :
 - la mine de molybdène et tungstène de Sandaozhuang, dans le Henan qui possède 220 millions de t de réserves prouvées et probables renfermant 0,105 % de Mo et 0,123 % de WO_3 ,
 - la mine de Shangfanggou, également dans le Henan, exploitée par la joint venture Luoyang Fuchuan qui possède des réserves prouvées et probables de 33 millions de t renfermant 0,191 % de Mo,
 - la mine de Hami, dans le Xinjiang, exploitée par la joint venture Xinjiang Luoma, qui possède 142 millions de t de réserves prouvées et probables contenant 0,139 % de Mo.
- Le groupe Antofagasta, a produit, en 2024, au Chili, 10 700 t de Mo, 664 000 t de Cu et 5,8 t d'or, en exploitant les mines :
 - de Los Pelambres, détenue à 60 % avec une production de 8 400 t de Mo, 319 600 t de Cu et 1,45 t de Au. Les réserves prouvées et probables sont de 781 millions de t renfermant 0,58 % de Cu, 0,021 % de Mo et 0,05 g/t d'or.
 - de Centinela, détenue à 70 %, avec une production de 2 400 t de Mo, 223 800 t de Cu, et 4,36 t de Au. Les réserves sont de 2 400 millions de t de minerai renfermant 0,41 % de Cu, 0,013 % de Mo et 0,14 g/t de Au.
- Rio Tinto, à travers sa filiale Kennecott Utah Copper, exploite la mine à ciel ouvert de cuivre de Bingham Canyon, dans l'Utah, près de Salt Lake City, aux États-Unis, avec une production, en 2024, de 2 600 t de Mo, 123 000 t de cuivre, 46,16 t d'argent et 2,95 t d'or. Les réserves prouvées et probables sont, fin 2024, de 782 millions de t de minerai contenant 0,034 % de Mo, 0,37 % de Cu, 2,05 g/t de Ag et 0,19 g/t d'or.
- Yichun Luming, filiale du groupe China Railway exploite la mine de Luming, à Yichun, dans la province d'Heilongjiang. En 2022, la production est de 15 000 t de molybdène et 1 000 t de cuivre.

Commerce international

En 2024, les principaux **pays exportateurs** de concentrés ou de concentrés grillés sont, sur un total de 369 816 t de produit, dont 195 545 t de minerais non grillés et 174 271 t de minerais grillés :

en tonnes de produit			
Pérou	82 294	Chine	23 942
Chili	78 707	Belgique	12 813
États-Unis	45 819	Arménie	11 426
Pays Bas	31 250	Kazakhstan	8 993
Mexique	28 275	Mongolie	6 007

Source : ITC

Les exportations du Chili sont principalement destinées pour 34 % au Japon, 22 % au Brésil, 20 % à la Corée du Sud, 15 % à l'Inde, 13 % aux Pays Bas.

Les principaux **pays importateurs** de concentrés ou de concentrés grillés sont sur un total de 474 749 t les suivants :

en tonnes de produit			
Chili	138 091	Japon	29 356
Chine	66 480	Belgique	26 015
Corée du Sud	40 503	Brésil	24 379

Pays Bas	32 347	Inde	16 538
États-Unis	29 368	Royaume Uni	15 470

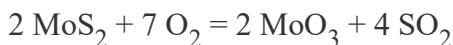
Source : ITC

Les importations chinoises proviennent principalement à 46 % du Pérou, 13 % du Chili, 8 % de Mongolie.

Métallurgie

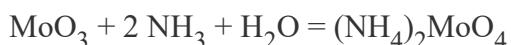
Les concentrés miniers de molybdénite (MoS_2) peuvent être purifiés pour donner du sulfure de molybdène utilisé comme additif lubrifiant dans des huiles et graisses.

Mais la plus grande partie des concentrés miniers subit d'abord un grillage, à l'air, entre 500 et 650°C selon la réaction :



On obtient de l'oxyde de molybdène (MoO_3) de qualité technique contenant au moins 57 % de Mo avec moins de 0,1 % de soufre, le [dioxyde de soufre](#) est récupéré pour produire de l'[acide sulfurique](#). Dans les fumées issues du grillage, le [rhénium](#), sous forme d'oxyde (Re_2O_7) est récupéré. L'oxyde technique peut être employé directement dans la fabrication de [fonte](#).

L'oxyde technique est ensuite soit sublimé vers 1 100°C pour donner de l'oxyde purifié, soit dissous dans l'[ammoniac](#) ou l'[hydroxyde de sodium](#) pour donner du molybdate d'ammonium ou de sodium selon, avec l'ammoniac, la réaction suivante :



Les ions [cuivriques](#), principales impuretés, sont précipités à l'aide de [sulfure d'hydrogène](#) et filtrés ou extraits par solvant spécifique avant cristallisation du molybdate. Du trioxyde purifié peut aussi être obtenu par calcination du molybdate d'ammonium.

Le ferromolybdène, généralement à 60 % de Mo, est obtenu par aluminothermie de l'oxyde, en présence d'[oxyde de fer](#). De 30 à 40 % de la production d'oxyde technique est destinée à celle de ferromolybdène.

Le molybdène métal est obtenu par réduction du trioxyde par le [dihydrogène](#), en 2 étapes. La première étape réalisée entre 450 et 650°C, donne du dioxyde qui, dans une seconde étape, est réduit, entre 1 000 et 1 100°C, en métal. On obtient une poudre qui est ensuite frittée, à 2 100°C, sous [dihydrogène](#), pour obtenir le métal massif.

Principaux producteurs

Les principaux producteurs de produits de molybdène sont :

- [Molymet](#), société chilienne, est le principal producteur mondial de produits issus de la métallurgie du molybdène, avec des usines :
 - au Chili, à Nos, au sud de Santiago, avec 37 200 t/an et Mejillones avec 27 000 t/an,
 - au Mexique, à Cumpas, dans l'État de Sonora, avec 12 700 t/an,
 - en Belgique, à Gand avec 15 900 t/an,
 - en Allemagne, à Bitterfeld, avec 1 700 t/an de métal,
 - en Chine, en joint venture détenue à 49,75 % en association avec [China Molybdenum Co.](#), à Luoyang.

En 2020, les capacités de production d'oxyde de molybdène étaient de 94 000 t/an dont 2 300 t/an de métal en Allemagne et en Chine, soit environ 35 % des capacités mondiales et les ventes sont, en 2020, de 76 200 t de molybdène contenu dans les produits, soit, en 2018, 16 780 t de

ferromolybdène et 645 t de métal. Par ailleurs Molymet détient 70 % des capacités mondiales de production de rhénium.

- Molyb, filiale de Codelco, a construit, à Mejillones, au Chili, une usine de transformation des concentrés de molybdène avec une capacité de production de 17 000 t/an de trioxyde de molybdène et la récupération du rhénium contenu. La production a débuté en septembre 2016.
- Climax Molybdenum, filiale de Freeport McMoRan Copper & Gold, produit de l'oxyde technique, par grillage, à Sierrita, dans l'Arizona, Fort Madison, dans l'Iowa et à Rotterdam, aux Pays Bas, du ferromolybdène à Stowmarket, au Royaume Uni, et des composés chimiques de molybdène, à Fort Madison et Rotterdam.
- China Molybdenum Co., en Chine, transforme principalement le molybdène extrait des mines exploitées, en ferromolybdène destiné à la sidérurgie chinoise.
- Jinduicheng Molybdenum, en Chine, possède une capacité de production de 32 000 t/an de ferromolybdène, 16 500 t/an de molybdate d'ammonium, 4 200 t/an de poudre de molybdène, 900 t/an de molybdène massif.
- Thompson Creek Metals Company, acquis, en 2016, par Centerra Gold, transforme des concentrés miniers dans ses installations métallurgiques de Langeloth, en Pennsylvanie, pour produire, de l'oxyde technique et de l'oxyde purifié par sublimation, ainsi que du ferromolybdène. Les capacités de production d'oxyde technique sont de 16 000 t/an, celles de ferromolybdène de 4 330 t/an, celles d'oxyde purifié de 1 370 t/an et celles de rhénium de 2 740 t/an. En 2022, les ventes ont porté sur 6 100 t de concentrés grillés.

Recyclage

Il concerne environ 30 % de la consommation. Le molybdène sans être séparé est recyclé lors du recyclage des aciers ou des superalliages le renfermant.

Situation française

Pas de production primaire. Il y a eu une faible production, entre 1942 et 1944, à Château-Lambert (70), de 6 000 t de minerai, titrant 0,37 % de Mo.

Des gisements existent, non économiquement exploitables, dans le massif armoricain, à Beauvin (61) avec 42 000 t de ressources à 0,02 % et à La Rousselière (44), dans le massif central, à Neuf-Jours (19) et en Alsace, à Breitenbach (67).

Exportations

Les exportations françaises portent, en 2024, sur les produits suivants :

- Concentrés grillés et non grillés : 452 t vers le Vietnam à 59 %, l'Inde à 29 %, la Belgique à 6 %.
- Oxydes et hydroxydes : 751 t vers la République tchèque à 86 %, l'Allemagne à 9 %.
- Ferromolybdène : 1 629 t vers la Belgique à 32 %, la Suède à 28 %, l'Allemagne à 11 %, l'Italie à 7 %.
- Métal massif : 22 t vers l'Italie à 68 %, l'Allemagne à 14 %, l'Espagne à 7 %.
- Déchets et débris : 1 066 t vers l'Allemagne à 59 %, l'Autriche à 13 %, la Belgique à 6 %.

Importations

Les importations françaises portent, en 2024, sur les produits suivants :

- Concentrés grillés et non grillés : 1 708 t des Pays Bas à 37 %, du Brésil à 33 %, de Belgique à 17 %.

- Oxydes et hydroxydes : 1 650 t des Pays Bas à 99 %.
- Ferromolybdène : 1 896 t du Royaume Uni à 47 %, de Corée du Sud à 20 %, de Belgique à 19 %, des Pays Bas à 6 %.
- Métal massif : 193 t d'Allemagne à 44 %, de Chine à 41 %, d'Ouzbékistan à 15 %.
- Déchets et débris : 836 t de Chine à 66 %, du Royaume Uni à 29 %, d'Allemagne à 2 %.

Utilisations

Consommations

En 2024, la consommation mondiale, hors recyclage, était de 294 114 t répartie entre :

- la Chine : 138 348 t,
- l'Europe : 55 475 t,
- les États-Unis : 27 806 t, en 2023
- le Japon : 20 000 t.

Secteurs d'utilisation du molybdène

En 2023, dans le monde, hors recyclage. Source : IMOA

<u>Aciers</u> de construction	38 %	Aciers trempés et rapides	8 %
<u>Aciers inoxydables</u>	25 %	Métal	5 %
Chimie	13 %	<u>Superalliages</u> et alliages de <u>nickel</u>	3 %
Fonderie	8 %		

Source : IMOA

La principale utilisation du molybdène, à près de 80 %, est pour renforcer la résistance mécanique des acières, à haute température, en formant des carbures durs et stables, et leur résistance à la corrosion. Il entre à des teneurs comprises entre 0,1 et quelques % dans la plupart des aciers alliés, à 10 % dans les aciers rapides, à 2 à 7 % dans les acières inoxydables standards et jusqu'à 16 % pour des aciers inoxydables spéciaux.

Dans les acières inoxydables, le molybdène renforce la protection contre la corrosion apportée par le chrome. Il entre dans la composition des aciers inoxydables utilisés en milieu marin, pour la vinification et le stockage de vins blancs, le milieu étant rendu corrosif par la présence de dioxyde de soufre. Dans ce dernier cas la nuance utilisée est : AISI 316L (CrNiMo 17-12).

Le molybdène métallique possède d'excellentes propriétés à haute température, mais la formation d'oxyde volatil dès 600°C, limite son utilisation à des milieux réducteurs, sous vide ou à l'abri de l'air. Il est employé, par exemple, comme électrodes de maintien en température de fours verriers. Pour améliorer sa résistance à l'oxydation à chaud, il peut être revêtu de disilicium de molybdène (MoSi₂). Par ailleurs, sa grande conductibilité thermique et électrique le fait utiliser dans des composants électroniques, en microélectronique, dans des cellules photovoltaïques, comme électrode arrière, sous forme de couche mince de 500 à 1000 nm d'épaisseur.

En chimie, les composés du molybdène sont utilisés comme catalyseurs, en association avec le nickel et le cobalt, dans l'hydrodésulfuration des pétroles, sous forme de molybdate de fer dans l'oxydation sélective du méthanol en formaldéhyde, sous forme de molybdate de bismuth dans l'oxydation du propène en acroléine et acrylonitrile.

Le molybdate de sodium est utilisé comme inhibiteur de corrosion de l'acier, de l'aluminium, du cuivre. Comme pigment, sous forme de molybdates de zinc, de calcium, de strontium, il remplace des chromates, toxiques, dans des peintures, matières plastiques, caoutchoucs, céramiques.

Sous forme de disulfure il est utilisé comme additif lubrifiant d'huiles et graisses. Sous forme de

complexes (dithiophosphates et dithiocarbamates) solubles dans les huiles, qui se décomposent en disulfure sur des surfaces métalliques chaudes, il donne des films protecteurs lubrifiants. Sous forme de trioxyde ou de molybdate d'ammonium, il est employé pour empêcher la formation de fumées lors d'incendie de polymères, en donnant, à chaud, du dioxyde de molybdène, non volatil.

Utilisations diverses

Le molybdène est utilisé, comme anode tournante pour appareils de radiographie et tomographie aux rayons X, comme résistance de chauffage de fours électriques à haute température, sous forme de disilicide de molybdène.

Le ⁹⁹Mo est le précurseur du ⁹⁹Tc, utilisé en imagerie nucléaire. Le ⁹⁹Mo est produit par fission de l'uranium 235 dans un réacteur nucléaire de recherche.