

MOLYBDENE 2014

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 (molybdénite - MoS₂), souvent associé au cuivre et parfois 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 MINIERES :

Le sulfure de molybdène est extrait soit de mines de molybdène, particulièrement aux États-Unis, au Canada et en Chine pour environ 52 % de la production mondiale, soit est coproduit dans des mines de cuivre, par exemple, aux États-Unis, au Chili, au Pérou..., pour 48 % de la production mondiale. La teneur des mines de molybdène 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 MoS₂. Lorsque la molybdénite est coproduite de mines de cuivre, le concentré peut contenir du rhénium à des teneurs inférieures à 0,1 % de Re.

Productions minières, en 2014 : monde : 266 170 t.

Chine	100 000 t	Canada	9 500 t
États-Unis	65 500 t	Arménie	6 700 t
Chili	39 000 t	Iran	6 300 t
Pérou	18 100 t	Russie	4 800 t
Mexique	11 000 t	Turquie	2 800 t

Source : USGS

Parmi les principaux pays producteurs on trouve les principaux producteurs de cuivre qui coproduisent du molybdène. Le cas de la Chine est particulier car, 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...

Aux États-Unis il y a 3 mines primaires d'extraction de molybdène, 2 dans le Colorado et une dans l'Idaho et 10 mines de cuivre coproductrices de molybdène, 6 dans l'Arizona et une dans chacun des états suivants : Montana, Nevada, Nouveau Mexique et Utah.

Réserves minières : en 2014, en milliers de t. Monde : 11 millions de t.

Chine	4 300	Russie	260
États-Unis	2 700	Canada	250
Chili	1 800	Australie	200

Pérou	450	Mongolie	160
-------	-----	----------	-----

Source : USGS

Principaux producteurs miniers :

Freeport McMoRan Copper & Gold (FCX), a produit, en 2014, 43 320 t de molybdène avec 2 mines de molybdène aux États-Unis, dans le Colorado : Henderson et Climax ainsi que 5 mines de cuivre, à ciel ouvert, donnant une coproduction de molybdène, aux États-Unis dans l'Arizona : Sierrita, avec 10 944 t de Mo et 88 920 t de Cu, Bagdad, avec 4 104 t de Mo et 108 070 t de Cu, Morenci, détenue à 85 %, avec 450 t de Mo et 370 070 t de Cu et au Nouveau Mexique : Chino, avec 450 t de Mo et 114 000 t de Cu, ainsi qu'une mine au Pérou : Cerro Verde, détenue à 53,56 %, avec 5 016 t de Mo et 228 000 t de Cu. La mine Climax a commencé à produire, à ciel ouvert, en mai 2012, avec une production en 2014, de 9 576 t de Mo et des réserves prouvées et probables de 185 millions de t renfermant 0,16 % de Mo. La mine souterraine d'Henderson a produit 13 680 t de Mo, avec des réserves prouvées et probables de 90 millions de t à 0,17 % de Mo. Les mines de cuivre nord américaines coproduisant du molybdène ont une teneur de 0,03 % de Mo. Au total, les réserves prouvées et probables du groupe sont de 1,27 million de t de molybdène.

Codelco, au Chili, a produit dans ses mines de cuivre, en 2014, un total de 30 628 t de molybdène et 1,841 million de t de cuivre, dont 14 620 t de Mo et 340 363 t de Cu à Chuquibambilla, 7 496 t de Mo et 455 444 t de Cu à El Teniente, 6 876 t de Mo et 232 444 t de Cu à Andina, 929 t de Mo et 327 278 t de Cu à Radomiro Tomic et 729 t de Mo et 54 015 t de Cu à Salvador.

Grupo Mexico, a produit dans ses mines de cuivre, en 2014, 23 290 t de molybdène et 847 387 t de cuivre, dont 11 742 t de Mo à La Caridad, en 2013 et 2 200 t de Mo, en 2014, à Buenavista, dans l'état de Sonora, au Mexique, et au Pérou, à Toquepala et Cuajone.

China Molybdenum Co., en Chine, a produit, en 2014, 16 270 t de molybdène et 8 122 t de tungstène, dans trois mines, celle de molybdène et tungstène de Sandaozhuang, dans le Henan qui possède 321 millions de t de réserves prouvées et probables renfermant 0,11 % de Mo et 0,11 % de WO₃, la mine de Shangfanggou, également dans le Henan, exploitée par la joint venture Luoyang Fuchuan qui possède des réserves prouvées et probables de 4 122 millions de t renfermant 0,181 % de Mo et 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 0,141 % de Mo.

Jinduicheng Molybdenum, en Chine, exploite les mines de molybdène à ciel ouvert de Jinduicheng et de Ruyang Donggou, dans le Shaanxi, avec une production, en 2011, de 13 300 t.

Thompson Creek Metals Company, a produit, en 2014, un total de 11 973 t de molybdène, en exploitant 2 mines, à ciel ouvert, de molybdène, aux États-Unis celle de Thomson Creek, dans l'Idaho, et au Canada, en Colombie Britannique celle d'Endako, à 75 %. En 2014, les productions ont été de 7 921 t pour la mine de Thomson Creek et 4 052 t pour celle d'Endako. Les réserves prouvées et probables sont de 66 millions de t de minerai à 0,073 % de Mo pour la mine de Thomson Creek et de 33,4 millions de t de minerai à 0,049 % de Mo pour la mine d'Endako. Fin 2014, la production des deux mines a été suspendue du fait du faible cours du molybdène.

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

2014, de 11 500 t de Mo, 204 200 t de cuivre et 7,8 t d'or. Les réserves sont de 693 millions de t de minerai contenant 0,036 % de Mo.

Commerce international : en 2014.

Principaux pays exportateurs de concentrés ou de concentrés grillés, sur un total de 318 525 t de produit.

Chili	85 630 t	Pays Bas	30 588 t
États-Unis	61 134 t	Belgique	19 556 t
Mexique	32 834 t	Canada	14 105 t
Pérou	30 627 t	Chine	11 145 t

Source : ITC

Principaux pays importateurs de concentrés ou de concentrés grillés, sur un total de 328 611 t de produit.

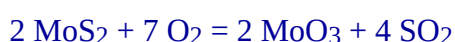
Belgique	48 531 t	Corée du Sud	26 589 t
Japon	39 841 t	Pays Bas	22 241 t
Chili	32 299 t	Royaume Uni	16 629 t
États-Unis	29 520 t	Chine	14 838 t

Source : ITC

METALLURGIE :

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.

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 de produits de molybdène :

Molybmet, société chilienne, est le principal producteur mondial de produits issus de la métallurgie du molybdène, avec des usines, au Chili, à Santiago et Mejillones, au Mexique, à Cumpas, dans l'état de Sonora, en Belgique, à Gand, en Allemagne, à Bitterfeld et en Chine, en joint venture, à Luoyang. En 2014, les capacités de production d'oxyde de molybdène sont de 93 000 t soit environ 30 % des capacités mondiales et la production a été de 84 686 t d'oxyde, 27 360 t de ferromolybdène et 5 889 t de métal. Par ailleurs Molybmet détient 70 % des capacités mondiales de production de rhénium.

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.

Thompson Creek Metals Company, transforme ses 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.

RECYCLAGE :

Il a porté, en 2013, sur 86 000 t, soit environ 26 % de la consommation.

SITUATION FRANÇAISE : en 2014

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).

Importations :

- Oxydes techniques : 2 226 t du Chili à 50 %, des Pays Bas à 19 %, du Mexique à 13 %, de Suède à 7 %.
- Oxydes et hydroxydes purifiés : 1 128 t des Pays Bas à 77 %, de Chine à 7 %.
- Ferromolybdène : 4 088 t de Belgique à 38 %, d'Arménie à 16 %, d'Allemagne à 15 %, du Royaume Uni à 15 %.

- Poudre de métal : 63 t des États-Unis à 67 %, d'Allemagne à 27 %.
- Métal brut massif : 58 t d'Allemagne à 84 %, de Belgique à 12 %.
- Déchets et débris : 899 t d'Allemagne à 67 %, de Chine à 18 %.

Exportations :

- Ferromolybdène : 706 t vers l'Allemagne pour 30 %, la Belgique pour 29 %, l'Italie pour 14 %.
- Métal massif : 23 t vers l'Allemagne pour 83 %.
- Déchets et débris : 1 000 t vers les Pays Bas pour 74 %, l'Allemagne pour 25 %.

UTILISATIONS :

Consommations, en 2014. Monde : 245 200 t, en 2013, Union européenne : 58 000 t en 2012.

Chine	92 110 t	Japon	27 220 t
États-Unis	33 900 t		

Source : IMO A et USGS

Secteurs d'utilisation : dans le monde, en 2013.

Aciers de construction	43 %	Fonte	8 %
Aciers inoxydables	22 %	Métal	5 %
Chimie	22 %	Superalliages et alliages de nickel	2 %
Aciers trempés et rapides	8 %		

Source : IMO A

La principale utilisation du molybdène, à près de 80 %, est pour renforcer la résistance mécanique des aciers, 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 aciers inoxydables standards et jusqu'à 16 % pour des aciers inoxydables spéciaux.

Dans les aciers 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 disiliciure 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 surface 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 disiliciure de molybdène.

Le ^{99}Mo est le précurseur du $^{99\text{m}}\text{Tc}$, utilisé en imagerie nucléaire. Le ^{99}Mo est produit par fission de l'uranium 235 dans un réacteur nucléaire de recherche.