

PLATINOIDES 2014

Le platine (Pt), avec le palladium (Pd), le rhodium (Rh), le ruthénium (Ru), l'iridium (Ir) et l'osmium (Os) forme la famille des métaux du groupe du platine (PGM en anglais) ou platinoïdes. Ces éléments, possédant des propriétés chimiques proches sont associés dans leurs gisements. Par contre, leurs propriétés physiques sont différentes : le platine et le palladium sont ductiles et faciles à mettre en forme alors que le ruthénium et l'osmium sont durs et cassants, Ru, Rh et Pd ont des densités comprises entre 12 et 12,5, alors que celles de Pt, Ir et Os sont comprises entre 21,4 et 22,6.

MATIÈRES PREMIÈRES :

Les teneurs de l'écorce terrestre sont de 0,005 ppm, soit 5 µg/kg, pour le platine, 0,015 ppm pour le palladium, 0,0015 pour l'osmium, 0,001 pour le rhodium, l'iridium et le ruthénium.

Les gisements de platinoïdes se trouvent généralement dans des roches magmatiques qui sont remontées en surface au travers de la croûte terrestre. C'est le cas du principal gisement mondial, celui du complexe du Bushveld, en Afrique du Sud, mais aussi de ceux de Great Dyke, au Zimbabwe, de Stillwater, aux États-Unis, de Norilsk en Russie. Dans ces gisements, les platinoïdes sont associés à des sulfures de nickel et de cuivre.

La teneur en platinoïdes des minerais d'Afrique du Sud est comprise entre 3 et 10 g/t. Aux États-Unis, cette teneur est, en moyenne, de 14 g/t. En Russie, dans le gisement de Norilsk-Talnakh, les teneurs varient entre 8 et 11 g/t pour les platinoïdes présents avec les sulfures massifs de nickel ou de cuivre et 3 et 9 g/t pour les platinoïdes présents dans les sulfures disséminés. Pour récupérer une once (31,1035 g) de platinoïdes, il faut extraire de 8 à 16 t de minerai.

En Afrique du Sud et aux États-Unis, les gisements sont exploités pour les platinoïdes contenus, le nickel et le cuivre étant coproduits. A Norilsk, en Russie, et à Sudbury, au Canada, les platinoïdes sont coproduits de mines de nickel.

Il existe une faible production alluviale, sous forme de platine natif, en Colombie et en Russie.

Les exploitations minières sont le plus souvent souterraines.

PRODUCTIONS MINIERES : en t.

Platine, en 2014 : monde : 161 t, Union européenne (Finlande), en 2013 : 0,4 t.

Afrique du Sud	110 t	Canada	7,2 t
Russie	25 t	États-Unis	3,65 t
Zimbabwe	11 t		

Source : USGS

Palladium, en 2014 : monde : 190 t, Union européenne (Finlande), en 2013 : 1,1 t.

Russie	81 t	États-Unis	12,2 t
Afrique du Sud	60 t	Zimbabwe	10 t

Canada	17 t		
--------	------	--	--

Source : USGS

Rhodium, en 2014 : monde : 19,7 t.

Afrique du Sud	15,3 t	Zimbabwe	1,1 t
Russie	2,1 t	Canada	0,9 t

Source : Stillwater

La production des autres platinoïdes est d'environ 30 t pour le ruthénium et de 6 t pour l'iridium.

En Afrique du Sud, l'énorme gisement du Bushveld (voir ci-dessous dans le paragraphe producteurs) s'étend sur une surface de 66 000 km² et une profondeur d'environ 15 km. Il s'est formé pendant 1 à 5 millions d'années, il y a 2 053 millions d'années, par l'intrusion d'un magma basique au travers de la croûte terrestre. Lors de son refroidissement, les minéraux de composition et de température de solidification différentes se sont déposés par cristallisation fractionnée en couches homogènes. Le gisement affleure selon trois lobes :

- à l'ouest, selon un arc de 300 km de long, de Pretoria à Thabazimbi, en passant par Rustenburg,
- à l'est, sur 100 km de long, au nord-est de Middleburg,
- au nord, sur 100 km au nord de Mokopane.

Les platinoïdes se trouvent dans 3 couches, dénommées reefs, à environ 2 000 m de profondeur : Merensky Reef d'une épaisseur moyenne de 30 cm, Upper Group 2 (UG-2) d'une épaisseur comprise entre 0,4 et 2,5 m, située de 20 à 400 m sous Merensky Reef, et Platreef. Aux débuts de leur exploitation, les gisements ont été exploités à faible profondeur, c'est le cas actuellement pour Platreef, mais comme les veines de minerais plongent de 10° vers le centre du complexe du Bushveld, l'exploitation est de plus en plus profonde. Par ailleurs, la faible épaisseur des veines de minerai ne permet pas une mécanisation importante et rend difficile les conditions de travail. Merensky Reef, est constituée d'environ 60 % d'enstatite (pyroxène) et 20 % de plagioclase (feldspath). Les platinoïdes sont associés à des sulfures constitués de pyrrhotite (sulfure de fer) pour 40 %, pentlandite (sulfure de fer et de nickel) pour 30 %, chalcopyrite (sulfure de fer et de cuivre) pour 15 %. Les platinoïdes, sont présents sous forme de coopérite (PtS), braggite ((Pt,Pd)NiS), pserryllite (PtAs₂), laurite (RuS₂)... dans des particules d'environ 15 micromètres. Le niveau UG-2 est constitué par 60 à 90 % de chromite (oxyde de fer et de chrome) et de silicates dont 5 à 30 % de pyroxène et 1 à 10 % de plagioclase.

Le gisement, outre les platinoïdes, contient du cuivre, du nickel, du cobalt, du chrome, du vanadium, du titane, de l'étain, de l'or, de l'argent...

En 2014, une grève de 5 mois, de janvier à juin, de 70 000 mineurs a entraîné une diminution de la production sud-africaine.

En Russie, les platinoïdes sont principalement coproduits par Norilsk dans les mines de nickel des péninsules de Taimyr et de Kola. Il existe dans ce pays une production alluviale, en 2012, de 4 070 kg de platine natif, avec les gisements de Kondyor, près de Khabarovsk, en Sibérie Orientale, où a été trouvé une pépite de 3,5 kg, et de Koryak, dans le Kamchatka.

Au Zimbabwe, les mines de platinoïdes exploitent l'intrusion magmatique du Great Dyke. Anglo American Platinum possède la mine d'Unki et raffine les concentrés obtenus, en Afrique du Sud et Impala Platinum possède les mines de Zimplats, à 87 % et Mimosa, à 50 %, en joint venture avec Sibanye Gold.

Au Canada, des platinoïdes sont extraits d'une part de la mine du Lac des Îles, dans l'Ontario et d'autre part sont coproduits dans les mines de Sudbury, dans l'Ontario, et de Raglan, au nord du Québec.

Le gisement du Lac des Îles qui s'étend sur 1 x 0,815 km et 650 m de profondeur est exploité par North American Palladium, à ciel ouvert depuis 1993 et souterrainement, à l'aide d'une rampe d'accès, depuis 2006. En 2014, la production a été de 5,4 t de palladium, 407 kg de platine, 361 kg d'or, 765 t de nickel, 1 381 t de cuivre, de l'argent et du cobalt. Les réserves prouvées et probables sont de 20,4 millions de t de minerai contenant 2,1 g/t de palladium, 0,18 g/t de platine, 0,16 g/t d'or, 0,08 % de nickel et 0,05 % de cuivre.

Les mines de Sudbury, exploitées par Vale, principalement pour le nickel contenu, ont donné, en 2014, 5,7 t de platine, 12,4 t de palladium et 2,6 t d'or. Les platinoïdes sont concentrés à Port Colborne, dans l'Ontario et raffinés, à Acton, au Royaume Uni.

Glencore exploite des platinoïdes dans la mine de Nickel Rim South, à Sudbury et dans celle de Raglan.

Aux États-Unis, la production est assurée par Stillwater Mining Co. (SMC), qui exploite la couche géologique dénommée J-M Reef, dans le sud du Montana, près de la ville de Nye, avec deux mines souterraines : Stillwater et East Boulder. La teneur moyenne du minerai extrait est de 16 g de platinoïdes par t à Stillwater et de 13 g/t à East Boulder. En 2014, la mine de Stillwater a donné 2,43 t de platine et 8,18 t de palladium, celle de East Boulder, 1,24 t de platine et 4,26 t de palladium. Par ailleurs, la production totale de rhodium a été de 124 kg, celle d'or de 311 kg, celle d'argent de 187 kg, celle de cuivre de 399 t et celle de nickel de 663 t. Les réserves de SMC, dans le Montana, sont de 48,9 millions de t de minerai avec une teneur moyenne en platinoïdes de 14 g/t et un rapport Pd/Pt de 3,58. Les opérations métallurgiques sont effectuées à Columbus dans le Montana.

Minéralurgie : les minerais extraits, sulfurés, sont broyés puis concentrés par flottation dans des installations proches de la mine qui donnent des concentrés sulfurés de nickel et de cuivre renfermant les platinoïdes. Par exemple, en 2014, les mines de Stillwater aux États-Unis ont produit 29 350 t de concentré renfermant 134 g/t de platine et 444 g/t de palladium, à partir de 1,17 million de t de minerai extrait de la mine contenant 14,6 g/ de platinoïdes. La masse de concentrés produits représente 2 % de la masse totale du minerai extrait. Le taux de récupération des platinoïdes est de 92 %.

Historique de la production minière : d'après J.F. Labbé, J.J. Dupuy, "Panorama 2012 du marché des platinoïdes".

Le platine était connu des civilisations égyptiennes et précolombiennes mais son exploitation industrielle a débuté en 1735, en Colombie par l'exploitation de placers et s'est poursuivie, à compter de 1819, dans l'Oural, en Russie. Cette exploitation, exclusivement dans des placers, a été de 281 t entre 1735 et 1918.

En 1919, a commencé l'exploitation minière des platinoïdes contenus dans le gisement de nickel de Sudbury, au Canada, puis, à compter de 1928, celle du reef Merensky, en Afrique du Sud. Au total, entre 1919 et 1946, la production mondiale a été de 280 t.

En 1947, a débuté l'exploitation minière des platinoïdes du gisement de nickel et de cuivre de Norilsk, en Russie et en 1982, celle du reef UG-2 en Afrique du Sud. Au total, entre 1947 et 1994, la production totale a été de 6 632 t.

Entre 1995 et 2014, la production de platinoïdes a été de 8 497 t, soit, depuis 1735, un total de 15 690 t.

Réserves minières : en 2014, en t de platinoïdes. Monde : 66 000 t.

Afrique du Sud	63 000	États-Unis	900
Russie	1 100	Canada	310

Source : USGS

Principaux producteurs : répartition en %, en 2014.

	Pt	Pd	Rh
Anglo American Platinum	39 %	20 %	40 %
Impala Platinum	21 %	11 %	19 %
Norilsk	14 %	44 %	16 %
Lonmin	8 %	3 %	9 %
Northam Platinum	5 %		4 %
Stillwater		6 %	
Vale		6 %	

Source : Norilsk

- [Anglo American Platinum](#) (Amplats) est le principal producteur de platinoïdes. Le groupe exploite, en Afrique du Sud, le complexe du Bushveld avec, en propre, les mines de Bathopele, Dishaba, Mogalakwena, Siphumelele, Thembelani, Tumela et Twickenham. Toutes les mines sont souterraines sauf celle de Mogalakwena qui a produit, en 2014, 11,1 t de platine, 11,8 t de palladium et 709 kg de rhodium ainsi que 15 400 t de nickel, 10 700 t de cuivre et 1,5 t d'or. Cette mine qui exploite, à ciel ouvert le Platreef, emploie par tonne de platine produit, en 2012, 224 personnes, alors que les 5 mines de la région de Rustenburg emploient 1 360 personnes, dans des conditions beaucoup plus difficiles.

Le groupe exploite également la mine d'Unki, au Zimbabwe qui a produit, en 2014, 1,9 t de platine, 1,4 t de palladium et 174 kg de rhodium ainsi que 2 500 t de cuivre, 1 700 t de nickel et 215 kg d'or. En septembre 2015, les mines de Bathopele, Siphumelele et Thembelani ont été vendues à [Sibanye Gold](#).

Par ailleurs, le groupe participe à l'exploitation d'autres mines, en joint venture : à 50 % avec [ARM Mining Consortium Limited](#) pour la mine de Modikwa, à 33 % avec [Royal Bafokeng Resources](#) pour le combiné minier de Bafokeng-Rasimone, à 85 % avec Bakgatla-Ba-Kgafela pour les mines d'Union North and South, à 50 % avec XK Platinum Partnership pour la mine de Mototolo, à 50 % avec Aquarius Platinum pour la mine de Kroondal, en octobre 2015, les activités d'Aquarius ont été reprises par [Sibanye Gold](#).

La teneur moyenne des minerais a été, en 2014, de 4,72 g/t pour les mines souterraines du reef Merensky, 3,71 g/ pour celles exploitant le reef UG-2 et de 3,03 g/t pour la mine à ciel ouvert de Mogalakwena qui exploite le Platreef.

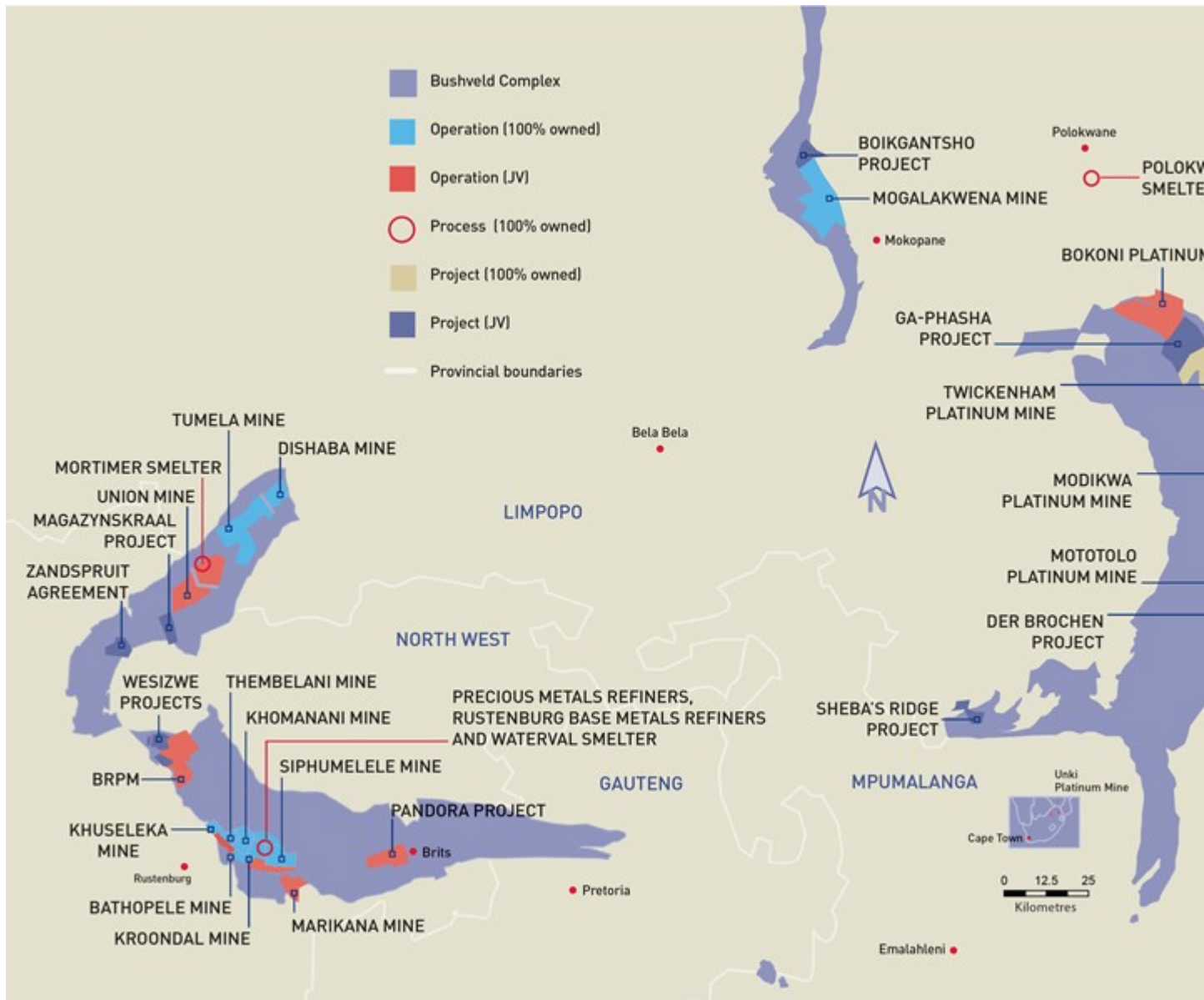
En 2014, l'extraction souterraine de minerai a porté sur 16,3 millions de t, l'exploitation à ciel ouvert sur 95,6 millions de t et la récupération de déchets miniers sur 6,7 millions de t.

En 2014, la production minière a été de 41,2 t de platine, 28,6 t de palladium, 4,8 t de rhodium, ainsi que 289 200 t de chrome, 23 900 t de nickel, 15 600 t de cuivre et 2,3 t d'or. Les pertes occasionnées par la grève de janvier à juin 2014 ont été, pour le platine, estimées à 13,2 t.

En 2014, les réserves prouvées et probables sont de 2 063 millions de t de minerai renfermant 3,01

% de platinoïdes en Afrique du Sud et 49,5 millions de t de minerai à 3,54 % de platinoïdes, au Zimbabwe.

Mines exploitées, dans le complexe de Bushveld, par Anglo American Platinum



Source : Anglo American Platinum

Impala Platinum (Implats), est le deuxième producteur mondial de platine et le 3^{ème} de palladium, avec, en 2014, une production de 39,7 t de platine, 24,6 t de palladium, 5,3 t de rhodium et 15 918 t de nickel. Cette société exploite, en Afrique du Sud, les mines d'Impala, de Marula, à 73 %, de Two Rivers, à 45 %, en joint venture avec ARM et au Zimbabwe les mines de Zimplats, à 87 % et Mimosasa, à 50 %, en joint venture avec Sibanye Gold. Les réserves prouvées et probables du groupe sont, à mi-2015, de 377,8 millions de t de minerai contenant 3,81 g/t de platinoïdes.

Norilsk, est le troisième producteur mondial de platine et le premier producteur mondial de palladium avec, en 2014, une production de 20,4 t de platine et 85,5 t de palladium. Norilsk est d'abord un producteur de nickel (n°1 mondial) et de cuivre, avec, en 2014, une production de 274 000 t de nickel et 368 000 t de cuivre, les platinoïdes étant coproduits. Le groupe exploite principalement des mines en Russie, dans la péninsule de Taimyr (Polar Division) et dans celle de Kola (Kola MMC) mais aussi des mines de nickel, contenant des platinoïdes, au Botswana, avec 85

% de la mine de Tati et en Afrique du Sud, avec 50 % de la mine de Nkomati, en joint venture avec ARM, toutefois, ces mines ont été vendues en 2015. Les réserves prouvées et probables du groupe sont de 806 t de platine et 3 011 t de palladium.

En Russie, 5 mines sont exploitées dans la péninsule de Taimyr : 4 mines souterraines (Komsomolsky, Oktyabrsky, Taimyrsky, Zapolyarny) et une mine à ciel ouvert (Medvezky-Ruchey) et 3 mines dans la péninsule de Kola : Severny (souterraine et à ciel ouvert) et Kaula-Kotselvaara.

Lonmin, est le 4^{ème} producteur mondial de platine, avec, en 2014, une production de 13,6 t de platine, 6,5 t de palladium, 2,4 t de rhodium, 3,6 t de ruthénium, 0,9 t d'iridium, 0,4 t d'or, 2 387 t de nickel, 1 480 t de cuivre et 747 881 t de chromite. Les principales mines sont situées, en Afrique du Sud, à Marikana. Par ailleurs, le groupe possède 50 % de la mine sud-africaine de Pandora. Les réserves prouvées et probables sont de 356,4 millions de t de minerai contenant 3,7 g/t de Pt, Pd, Rh et or.

Northam Platinum, exploite 2 mines souterraines dans le complexe du Bushveld, celle de Zondereinde à l'ouest et celle de Booyendal, à l'est. Par ailleurs, Northam, possède 7,5 % de la mine de Pandora. En 2014-15, la production a été de 7,9 t de platine, 3,9 t de palladium, 1,2 t de rhodium, 1,8 t de ruthénium, 397 kg d'iridium, 180 kg d'or, 1 322 t de nickel, 6790 t de cuivre et 141 894 t de chromite. Les réserves prouvées et probables sont de 161,9 millions de t de minerai renfermant 3,68 g/t de platinoïdes.

Commerce international :

En 2013, les États-Unis, ont importé 116 t de platine (d'Afrique du Sud à 38 %, d'Allemagne à 21 %, du Royaume Uni à 9 %), 83,1 t de palladium, (d'Afrique du Sud à 26 %, de Russie à 25 %, d'Italie à 11 %), 11,1 t de rhodium, 15,3 t de ruthénium, 1,7 t d'iridium et 0,077 t d'osmium. Ils ont exporté 11,2 t de platine, 25,9 t de palladium, 1,2 t de rhodium.

METALLURGIE :

Les concentrés provenant des exploitations minières subissent une succession de traitements. Exemple des opérations effectuées par Stillwater Mining Co. (SMC) sur les concentrés américains du Montana auxquels ont été ajoutés le platine issu du recyclage.

Une série de fusions, à plus de 1 500°C, dans des fours électriques, permet d'éliminer la silice sous forme d'un laitier fusible ainsi qu'une grande partie du fer contenu. On obtient des mattes sous forme de granulés qui contiennent sous forme de sulfures, du cuivre, du nickel, du cobalt et les platinoïdes.

Les mattes sont ensuite traitées selon le procédé Sherritt qui consiste à pratiquer des lixiviations à l'acide sulfurique, en présence de dioxygène. Une première étape à la pression atmosphérique et à chaud permet d'éliminer une grande partie du nickel et du cobalt qui sont récupérés sous forme de sulfates. Une deuxième étape, sous pression et plus haute température dans des autoclaves, fait passer une grande partie du cuivre en solution. Il est récupéré par électrolyse donnant des cathodes de cuivre. Une troisième étape, sous pression et haute température, permet l'élimination du cuivre et du nickel restant.

Les platinoïdes qui sont restés inattaqués lors des traitements de lixiviation se retrouvent dans les "gâteaux" issus des filtres-presses. L'or et l'argent, présents en faible quantité, accompagnent les platinoïdes. La teneur en platinoïdes est passée de 2 % dans les mattes, à 40 % dans les "gâteaux".

Les opérations de séparation des éléments contenus sont réalisées à l'extérieur de la société pour fournir des éponges titrant 99,95 %. Ces opérations hydrométallurgiques consistent en une attaque par l'acide chlorhydrique en présence de dichlore qui permet de solubiliser l'or puis le palladium et ensuite le platine. Les autres platinoïdes restent insolubles. Les traitements de séparation mis en œuvre font appel à des extractions par solvant, des distillations, des échanges d'ions.

Les concentrés miniers produits par Anglo American Platinum sont traités dans 3 complexes métallurgiques, à Mortimer, Waterval (Rustenburg) et Polokwane. En 2012, 1,15 million de t de concentrés ont donné 185 100 t de mattes qui après conversion ont fourni 29 600 t de métaux de base (cuivre, nickel et cobalt) et 55 200 t de mattes converties qui après raffinage ont donné 144 t de platinoïdes.

RECYCLAGE ET STOCKS :

L'une des caractéristiques des platinoïdes est leur grande capacité à être recyclés. Lorsqu'ils sont recyclés, plus de 96 % du métal contenu est récupéré.

En 2014, dans le monde :

- 64,5 t de platine ont été recyclées provenant, à 62,6 % de la catalyse automobile, 36,9 % de la bijouterie et 0,5 % d'applications industrielles.
- 85,5 t de palladium ont été recyclées provenant, en 2013, à 76 % de la catalyse automobile, 17 % d'applications industrielles et 7 % de la bijouterie.
- 9,8 t de rhodium ont été recyclées provenant de la catalyse automobile.

En 2014, Stillwater Mining Co. (SMC) a recyclé, 4,2 t de platine, 6,9 t de palladium et 0,9 t de rhodium.

En Europe, les principales entreprises de recyclage de platinoïdes sont soit des métallurgistes comme Umicore, à Hoboken, en Belgique ou Heraeus, en Allemagne ou des fabricants de catalyseurs comme Basf, en Allemagne.

Stock gouvernementaux :

Jusqu'en 2005, les productions russes de platinoïdes n'étaient pas connues, on connaissait seulement le résultat du déstockage des stocks accumulés, ceux-ci étant secret d'état. En 2003, le stock de palladium était estimé à 370 t. Entre 2005 et 2012, les ventes du stock russe ont porté sur 237 t de palladium.

En 1994, le stock des États-Unis était de 13,7 t de platine, 39,3 t de palladium et 920 kg d'iridium. Entre 1999 et 2007 la vente de ce stock a eu lieu et il reste un stock résiduel de 261 kg de platine et 15 kg d'iridium.

Stocks financiers :

Les ETF (Exchange Traded Funds) sont des fonds cotés en bourse qui émettent des actions reposant sur des stocks physiques de métal. Ils ont été créés, en 2007 pour le platine et le palladium et en 2011 pour le rhodium. Fin 2012, ils étaient estimés à 52 t de platine, 63,4 t de palladium et 1,5 t de rhodium.

SITUATION FRANÇAISE : en 2014.

Pas de production primaire.

Importations :

Platine*, en 2013 : 6 796 kg à 46 % d'Allemagne, 31 % des États-Unis.

Palladium : 4 780 kg à 52 % de Suisse, 20 % d'Allemagne, 13 % d'Italie, 10 % des États-Unis.

Rhodium : 73 kg à 70 % d'Allemagne, 11 % de Belgique.

Autres platinoïdes : 365 kg à 51 % des États-Unis, 41 % du Royaume Uni.

Exportations :

Platine*, en 2013 : 1 874 kg à 37 % vers l'Allemagne, 17 % les États-Unis, 16 % le Royaume Uni, 15 % l'Italie.

Palladium : 2 795 kg à 63 % vers l'Allemagne, 21 % l'Italie.

Rhodium : 91 kg à 85 % vers la Belgique.

Autres platinoïdes : 12 kg à 67 % vers le Canada, 18 % vers le Royaume Uni.

*Les données douanières pour le platine en 2014, ne semblent pas correctes.

UTILISATIONS :

Consommations : répartition, en 2014.

	Platine	Palladium
Chine	29 %	23 %
Europe	25 %	19 %
Amérique du Nord	14 %	25 %
Japon	13 %	14 %
Total mondial	245 t	299 t

Source : Norilsk

Consommations mondiales des autres platinoïdes, en 2013 :

Rhodium : 31,6 t

Ruthénium : 25,8 t

Iridium : 6,2 t.

Osmium : moins d'une t/an.

Secteurs d'utilisation : dans le monde.

La catalyse automobile est, de très loin, le principal secteur d'utilisation des platinoïdes, il compte pour 56 % des emplois du platine, du palladium et du rhodium réunis.

- pour les véhicules fonctionnant à l'essence, c'est principalement le palladium, associé au rhodium qui est utilisé. Lorsque le platine est utilisé, il est associé au palladium et au rhodium. Dans les pots catalytiques 3 voies, le platine ou le palladium permettent la conversion du CO et des hydrocarbures imbrûlés en CO₂ et en eau alors que le rhodium permet la conversion des oxydes d'azote en diazote et eau lorsque le rapport air/carburant est de 14,7. La teneur en platinoïdes est de 2 à 3 g par

véhicule.

- pour les véhicules diesel, c'est principalement le platine qui est utilisé, avec une teneur en platinoïdes de 7 à 8 g par véhicule.

Platine : en 2014.

Catalyse automobile	38 %	Médical	3 %
Bijouterie	37 %	Pétrole	2 %
Chimie	7 %	Electronique	2 %
Verre	4 %		

Source : Lonmin

La Chine avec, en 2012, 60,7 t de platine consommé en bijouterie, représente 70 % de la consommation de ce secteur.

Le platine est utilisé en catalyse chimique principalement pour fabriquer des silicones mais aussi pour la synthèse du paraxylène destiné à produire de l'acide téréphtalique puis du polyéthylène téréphtalate (PET). Il est également employé dans les toiles permettant de catalyser l'oxydation de l'ammoniac en oxyde d'azote lui même transformé en acide nitrique. En général, le catalyseur est peu consommé lors de son utilisation et au bout d'un certain temps est facilement recyclable, sauf dans le cas de la fabrication des silicones où il est employé dans leur vulcanisation à froid sous forme, en général, d'acide chloroplatinique, H_2PtCl_4 , une partie du catalyseur se trouve incorporé dans le produit final. Par exemple, les silicones des implants mammaires renferment de 6 à 8 μg de Pt/g de silicone, soit plus que la teneur des minerais sud-africains.

Le platine, permet de catalyser la réaction du dihydrogène avec le dioxygène, avec formation d'eau, à la base du fonctionnement des piles à combustible.

Dans l'industrie verrière, le platine, allié à 5 à 20 % de rhodium, est employé dans la confection de filières pour la production de fibre de verre, d'un diamètre compris entre 5 et 13 μm et pour la fabrication d'écrans à cristaux liquide (LCD).

En électronique, le platine est utilisé à 95 % dans la fabrication de disques durs, sous forme d'alliages cobalt-chrome-platine, dans des couches minces magnétiques d'environ 20 nm.

Le platine a de nombreuses autres applications, du fait de sa résistance à la corrosion, en particulier à haute température. Il est employé comme creuset pour diverses fusions, dans des thermocouples (platine/platine-rhodié), comme électrodes, en particulier dans les pacemakers, comme revêtement, sous forme d'alliage avec l'aluminium, de pales de turbines de réacteurs...

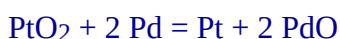
Palladium : en 2014.

Catalyse automobile	76 %	Dentaire	4 %
Electronique	10 %	Bijouterie	3 %
Chimie	5 %		

Source : Lonmin

En électronique, le palladium est utilisé pour la fabrication de condensateurs céramiques multicouches ainsi que pour remplacer l'or dans les dépôts destinés à faciliter les connexions électriques.

En chimie, dans la fabrication de l'acide nitrique, le catalyseur est constitué de plus de 50 toiles de platine rhodié de plus de 4 mètres de diamètre, avec un fil d'environ 0,07 mm de diamètre. Les pertes en platine varient entre 25 et 40 mg/t de HNO₃ pur. Elles sont dues à un effet mécanique et à l'oxydation du platine en PtO₂. Le platine perdu par effet mécanique est en partie récupéré dans des filtres. Celui qui est oxydé peut être, en partie, récupéré par ajout de toiles de palladium sur lesquelles l'oxyde de platine est réduit selon la réaction :



A une température supérieure à 750°C, l'oxyde de palladium est décomposé en palladium qui forme un alliage métallique avec le platine. Ainsi, plus de 80 % du platine et 30 % du rhodium peuvent être récupérés. La durée moyenne de vie du catalyseur est comprise entre 3 et 18 mois.

Par ailleurs, en chimie, le palladium est utilisé comme catalyseur dans la purification de l'acide téréphtalique et dans la fabrication du peroxyde d'hydrogène.

La Chine avec, en 2012, 7,5 t de palladium consommé en bijouterie, représente 54 % de la consommation de ce secteur.

Le palladium déposé sur des zéolithes, absorbe l'éthylène et est employé pour retarder le mûrissement des fruits et légumes frais lors de leur stockage. Il absorbe également le dihydrogène et est utilisé pour sa purification à l'aide de membranes en alliage palladium-argent.

Rhodium : en 2014.

Catalyse automobile	82 %	Verre	6 %
Chimie	7 %	Electronique	1 %

Source : Lonmin

Le rhodium est utilisé en catalyse chimique dans la production d'acide acétique, d'oxo-alcools ainsi que comme élément d'alliage des catalyseurs de platine et des filières de platine utilisées dans l'industrie verrière.

Ruthénium : en 2013.

Électronique	64 %	Chimie	12 %
Électrochimie	15 %		

Source : Johnson Matthey

Le ruthénium est utilisé comme catalyseur dans la production d'ammoniac à partir de gaz naturel et avec l'iridium, comme revêtement d'électrodes dans l'électrolyse de saumures pour la fabrication du dichlore et de l'hydroxyde de sodium. L'ajout de 0,1 % de Ru au titane permet d'augmenter considérablement sa résistance à la corrosion. Le ruthénium est également utilisé pour élaborer des cibles de pulvérisation cathodique pour des dépôts en couche mince sur les disques durs. Ces

dépôts, très minces, de 4 couches atomiques, séparent deux couches magnétiques pour créer un couplage antiferromagnétique qui permet d'augmenter la densité du stockage sur le disque dur.

Iridium : en 2013.

Électrochimie	29 %	Chimie	10 %
Électronique	18 %		

Source : Johnson Matthey

L'iridium est utilisé pour élaborer des creusets destinés à la fabrication de monocristaux de saphir. Il a été utilisé dans l'alliage (90 % Pt - 10 % Ir) du mètre étalon réalisé par George Matthey et livré au gouvernement français le 4 octobre 1879.

L'osmium, qui s'oxyde à l'air lorsqu'il est à l'état divisé en donnant du tétroxyde (OsO_4), très toxique, est employé dans les revêtements d'or sur verre. Le tétroxyde d'osmium est utilisé dans la détection des empreintes digitales et des traces d'ADN lors des enquêtes de la police scientifique.