

Platinoïdes 2023

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 ppm pour l'osmium, 0,001 ppm 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 15 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 minières

Production minière de platine

En tonnes de platine contenu, en 2023, sur un total mondial de 180,1 t.

Afrique du Sud	124,4 t	Zimbabwe	16,0 t
Russie	24,3 t	Canada, États-Unis	9,0 t

Source : Johnson Matthey

La production de l'Union européenne, en 2023, en Finlande, est de 953 kg.

Production minière de palladium

En tonnes de palladium contenu, en 2023, sur un total mondial de 203,6 t.

Russie	84,0 t	Canada, États-Unis	26,8 t
Afrique du Sud	73,0 t	Zimbabwe	13,3 t

Source : Johnson Matthey

La production de l'Union européenne, en 2023, en Finlande, est de 762 kg.

Production minière de rhodium

En 2023 : monde : 21,8 t.

en tonnes de métal contenu

Afrique du Sud	17,4 t	Zimbabwe	1,4 t
Russie	2,2 t	Canada, États-Unis	0,6 t

Source : Johnson Matthey

Production minière des autres platinoïdes

Ruthénium : environ 40 t/an, à 89,8 % en Afrique du Sud, 4,5 % au Zimbabwe, 4,2 % en Russie et 1,4 % au Canada. En 2023, la production a été de 32,0 t.

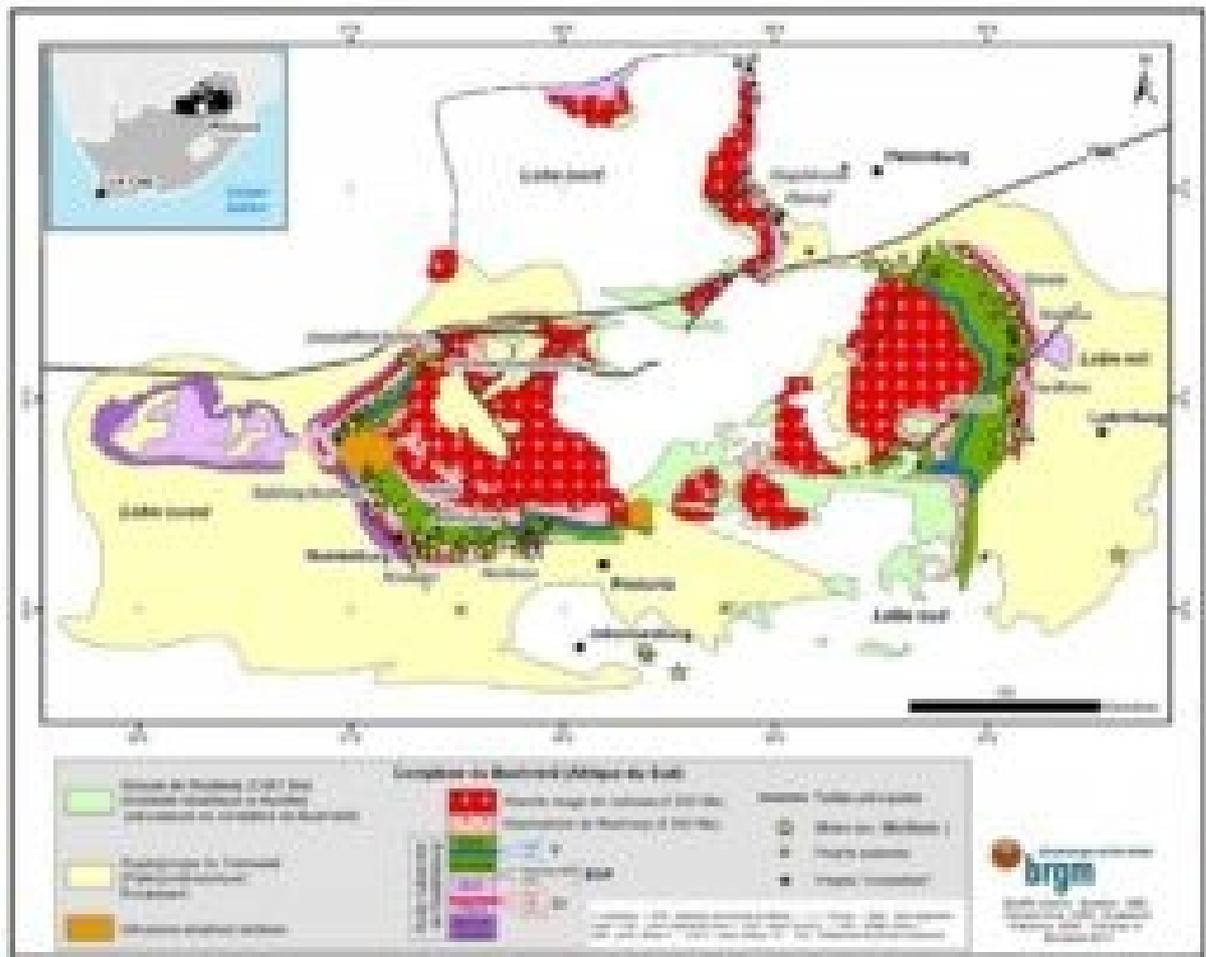
Iridium : environ 9 t/an, à 80,9 % en Afrique du Sud, 9,0 % en Russie, 7,4 % au Zimbabwe, 2,6 % au Canada. En 2023, la production a été de 7,0 t.

Osmium: environ 1 t/an.

En Afrique du Sud, l'énorme gisement du Bushveld (voir ci-dessous), découvert en 1924 par Hans Merensky, 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.

Carte géologique du complexe du Bushveld (Source : [Mineralinfo](#))



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), pserrylite (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.

En 2020, 64 % de la production provient du niveau UG2, 21 % de Merensky reef et 15 % de Platreef.

Évolution de la teneur moyenne en Pt, Pd, Rh et Au des minerais extraits : 4,8 g/t en 2000, 3,5 g/t en 2013, 3,35 g/t en 2019.

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](#)... Il renferme 80 % des réserves mondiales de chrome, de 40 à 50 % de celles de vanadium.

Teneurs en platinoïdes et en or des reefs sud-africains :

	en g/t						
Reefs	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au
Merensky	3,25	1,38	0,17	0,44	0,06	0,04	0,18
UG-2	2,46	2,04	0,54	0,72	0,11	0,10	0,02
Platreef	1,26	1,38	0,09	0,12	0,02	0,02	0,10

Source : DERA

En Russie, les platinoïdes sont principalement coproduits par [Nornickel](#), ex-Norilsk, dans les mines de [nickel](#) des péninsules de Taimyr et de Kola. Les proportions des différents platinoïdes et de l'or sont les suivantes : 17,7 % de Pt, 74,0 % de Pd, 2,0 % de Rh, 1,1 % de Ru, 0,7 % de Ir et 4,5 % de Au. Il existe dans ce pays une production alluviale, en 2018, de 622 kg de platine natif, avec les gisements de Kondyor, près de Khabarovsk, en Sibérie Orientale, exploités par [Russian Platinum](#), 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 [Impala Platinum](#) possède les mines de Zimplats, à 87 % et Mimosa, à 50 %, en joint venture avec [Sibanye Stillwater](#). Les proportions des différents platinoïdes et de l'or sont les suivantes : 45,5 % de Pt, 36,0 % de Pd, 3,9 % de Rh, 4,9 % de Ru, 2,4 % de Ir et 7,2 % de Au.

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 nickel 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 [Impala Platinum](#) qui l'a acquis, en décembre 2019, auprès de North American Palladium. Le gisement est exploité à ciel ouvert depuis 1993 et souterrainement, depuis 2006. En 2022-23, la production a été de 678 kg de Pt, 7,776 t de Pd ainsi que de l'or, du nickel, du [cuivre](#), de l'[argent](#) et du [cobalt](#). Les réserves prouvées et probables sont de 22 millions de t de minerai contenant 2,64 g/t de platinoïdes, 0,06 % de nickel et 0,07 % de cuivre.

Les mines de Sudbury, exploitées par [Vale](#), principalement pour le [nickel](#) contenu, ont donné, en 2023, 3,888 t de platine, 4,634 t de palladium, 1,400 t d'or et de l'argent ainsi que 57 900 t de cuivre, 38 200 t de nickel et 365 t de cobalt. Les platinoïdes sont concentrés à Port Colborne, dans l'Ontario et raffinés, jusqu'en 2018, à Acton, au Royaume Uni. Cette raffinerie ayant fermé en 2018, les concentrés sont depuis traités par une tierce partie. Les réserves prouvées et probables sont de 75,1 millions de t renfermant 1,37 % de Cu, 1,42 % de Ni, 0,04 % de Co, 0,84 g/t de Pt, 1,01 g/t de Pd et 0,32 g/t de Au.

[Glencore](#) exploite des platinoïdes dans la mine de Nickel Rim South, à Sudbury et dans celle de Raglan, avec, en 2023, une production de 746 kg de Pt, 2,022 t de Pd, 93 kg de Rh, 342 kg d'or, 6,9 t de Ag ainsi que 39 300 t de Ni, 13 700 t de Cu et 400 t de Co. Les concentrés de nickel et de cuivre sont raffinés en Norvège, à Kristiansand. Les réserves prouvées et probables sont de 31,9 millions de t renfermant 2,12 % de Ni, 0,81 % de Cu, 0,05 % de Co, 0,56 g/t de Pt et 1,11 g/t de Pd.

Aux États-Unis, la production est assurée par [Sibanye Stillwater](#), après l'acquisition, en mai 2017, des mines souterraines de Stillwater et East Boulder qui exploitent la couche géologique dénommée J-M Reef, dans le sud du Montana, près de la ville de Nye. La teneur moyenne du minerai extrait est, en 2023, de 11,37 g de platinoïdes par t de minerai. En 2023, la production des deux mines a été

de 3,048 t de platine et 10,264 t de palladium avec 8,178 t de platine et palladium pour la mine de Stillwater et 5,112 t de platine et palladium pour celle de East Boulder. Les réserves prouvées et probables sont, fin décembre 2023, de 60,4 millions de t de minerai avec une teneur moyenne en platinoïdes de 13,5 g/t de Pt, Pd. Les opérations métallurgiques sont effectuées à Columbus dans le Montana. Les proportions entre les différents platinoïdes sont les suivantes : 22 % de Pt, 78 % de Pd.

Dans l'Union européenne, il y a une faible production de platine et de palladium associée à l'exploitation des gisements polonais de [cuivre](#) avec environ 15 kg/an de Pt et 25 kg/an de Pd et surtout l'exploitation à ciel ouvert de la mine de Kevitsa, depuis 2012, dans le nord de la Finlande, le gisement ayant été découvert en 1987. En juin 2016, [First Quantum](#) a vendu la mine à [Boliden](#). En 2023, les productions ont été de 20 000 t de Cu, 10 000 t de Ni, 513 t de Co, 396 kg de Au, 933 kg de Pt, 762 kg de Pd. Les réserves prouvées et probables sont de 82,1 millions de t renfermant 0,31 % de Cu, 0,20 % de Ni, 0,011 % de Co, 0,19 g/t de Pt, 0,12 g/t de Pd, 0,10 g/t d' Au.

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 2016, les mines de Stillwater aux États-Unis ont produit 32 097 t de concentrés renfermant 129 g/t de platine et 439 g/t de palladium, à partir de 1,29 million de t de minerai extrait de la mine contenant 14,0 g/t de platinoïdes. La masse de concentrés produits représente 2,5 % de la masse totale du minerai extrait. Le taux de récupération des platinoïdes est, en 2021, de 89,71 %.

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 donné 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 2017, la production de platinoïdes a été de 9 890 t, soit, depuis 1735, un total de 17 080 t.

Principaux producteurs miniers : en 2023.

	en tonnes de production minière		
	Pt	Pd	Rh
Impala Platinum , en 2022-23	42,285	32,674	5,266
Sibanye Stillwater	35,832	26,624	4,906
Anglo American Platinum	34,870	27,013	4,569
Nornickel , en 2022	20,248	86,779	2,022
Northam Platinum , en 2022-23	15,348	7,657	2,547
Vale	3,888	4,634	

ARM , en 2022-23	3,806	2,761	0,692
Glencore	0,746	2,022	0,093

Sources : rapports des sociétés

Voir ci-dessous pour plus de détails.

Réserves minières : en 2023. Monde : 71 000 t.

en t de platinoïdes			
Afrique du Sud	63 000	États-Unis	820
Russie	5 500	Canada	310
Zimbabwe	1 200		

Source : USGS

En Afrique du Sud, 71 % des réserves sont situées dans le lobe ouest du complexe du Bushveld, 24 % dans le lobe est et 5 % dans le Platreef. 57 % des réserves sont situées dans le reef Merensky, 38 % dans UG-2, 5 % dans Platreef.

Métallurgie

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 ajouté 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 4 complexes métallurgiques, à Mortimer, Waterval (Rustenburg) et Polokwane, en Afrique et Sud et Unki au Zimbabwe. 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.

Principaux producteurs :

- [Anglo American Platinum](#) (Amplats) avec, en 2023, un total de raffinage de 54,403 t de Pt, 39,458 t de Pd, 7,017 t de Rh, 17,334 t pour les autres platinoïdes et or et 21 800 t de Ni dont avec le raffinage de sa propre production minière de 34,870 t de platine, 27,013 t de palladium, 4,569 t de rhodium, 6,190 t de ruthénium, 1,571 t d'iridium, 2,249 t d'or ainsi que 973 000 t de [chromite](#), 22 292 t de [nickel](#) et 14 552 t de [cuivre](#). 28,2 millions de t de minerai renfermant 3,5 g/t de platine, palladium, rhodium et or ont été traitées. La répartition des revenus du groupe sont, en 2022, par métaux, de 41 % pour le rhodium, 25 % pour le palladium, 17 % pour le platine, 8 % pour les autres platinoïdes et l'or, 9 % pour les autres métaux.

Le groupe exploite, en Afrique du Sud, le complexe du Bushveld avec, en propre :

- la mine de Mogalakwena à ciel ouvert, avec, en 2023, une production de 12,802 t de Pt, 13,913 t de Pd, 0,911 t de Rh, 0,855 t de Ru, 0,217 t de Ir, 1,580 t d'or, 16 832 t de Ni et 10 729 t de Cu,
- celle d'Amandebult souterraine regroupant les mines de Dishaba et Tumela, avec 10,018 t de Pt, 4,613 t de Pd, 1,804 t de Rh, 2,557 t de Ru, 0,650 t de Ir, 0,084 t d'or, 918 000 t de chromite, 749 t de Ni et 294 t de Cu,
- celle de Mototolo, détenue entièrement après l'achat en novembre 2018, des parts de Glencore avec, 4,078 t de Pt, 2,647 t de Pd, 0,718 t de Rh, 1,191 t de Ru, 0,274 t de Ir, 0,072 t d'or, 532 t de Ni et 221 t de Cu,
- le groupe exploite également la mine d'Unki, au Zimbabwe qui a produit, en 2023, 3,459 t de Pt, 2,890 t de Pd, 0,339 t de Rh, 0,333 t de Ru, 0,140 t de Ir, 0,423 t d'or, 3 603 t de Ni et 2 976 t de Cu.

Exploite également en association les complexes miniers suivants :

- Modikwa, partagé 50-50 avec ARM, avec une production en propre de 1,854 t de Pt, 1,664 t de Pd, 0,336 t de Rh, 0,488 t de Ru, 0,115 t de Ir, 0,065 t d'or, 55 000 t de chromite, 428 t de Ni et 262 t de Cu.
 - Kroondal, partagé 50-50 avec Sibanye-Stillwater, avec une production en propre de 2,659 t de Pt, 1,347 t de Pd, 0,460 t de Rh, 0,765 t de Ru, 0,174 t de Ir, 0,025 t d'or, 148 t de Ni et 70 t de Cu.
- [Impala Platinum](#) (Implats), a produit, en 2022-23, 42,285 t de platine, 32,674 t de palladium, 5,266 t de rhodium, 14 970 t de nickel et en 2020-21, 8,709 t de ruthénium, 2,115 t d'iridium, 3,931 t d'argent, 2,936 t d'or, 11 900 t de cuivre et 100 t de cobalt. La répartition des revenus du groupe sont, en 2023, par métaux, de 32 % pour le rhodium, 31 % pour le palladium, 23 % pour le platine, 4 % pour le nickel, 10 % pour les autres métaux. Implats exploite 4 complexes miniers en Afrique du Sud, 2 au Zimbabwe et 1 au Canada :
 - en Afrique du Sud, les mines d'Impala Rustenburg, détenues à 96 %, qui ont donné, en 2022-23, en métaux raffinés, 20,149 t de Pt, 9,483 t de Pd, 2,498 t de Rh, 3 708 t de Ni,
 - celles de Impala Bakofeng, depuis juin 2023, après la prise de contrôle de Royal Bakofeng Platinum et une production pour le mois de juin 2023 de 743 kg de Pt, 320 kg de Pd, 78 kg de Rh et 202 t de Ni.

- celles de Marula, à 73,3 % avec contenu dans des concentrés 2,868 t de Pt, 2,952 t de Pd, 585 kg de Rh, 284 t de Ni,
- et celles de Two Rivers, à 46 %, en joint venture avec ARM avec contenu dans des concentrés 4,286 t de Pt, 2,56 t de Pd, 743 kg de Rh, 713 t de Ni,
- au Zimbabwe les mines de Zimplats, à 87 % avec contenu dans des mattes 8,771 t de Pt, 7,393 t de Pd, 728 kg de Rh, 5 787 t de Ni,
- et celle de Mimosa, à 50 %, en joint venture avec [Sibanye Stillwater](#) avec contenu dans des concentrés 3,580 t de Pt, 2,790 t de Pd, 295 kg de Rh, 3 549 t de Ni.
- En décembre 2019, a acquis le producteur canadien [North American Palladium](#) qui exploite le gisement du Lac des Îles dans l'Ontario. En 2022-23, la production a été de 678 kg de Pt, 7,776 t de Pd et, en 2020-21, 1 247 t de Ni.

Les réserves prouvées et probables sont de 506 millions de t renfermant 3,23 g/t de platinoïdes et or.

- [Sibanye Stillwater](#) a acquis en Afrique Australe, Aquarius Platinum, en mars 2016, le complexe de Rustenburg en novembre 2016 puis aux États-Unis, Stillwater Mining, en mai 2017 et Lonmin, en juin 2019. Les productions, dans les mines de platine, en Afrique du Sud, au Zimbabwe et aux États-Unis, ont été, en 2023, de 35,831 t de Pt, 26,624 t de Pd, 4,906 t de Rh, 7,803 t de Ru, 1,964 t de Ir, 968 kg de Au, 2,324 millions de t de chromite. Par ailleurs, Sibanye Stillwater est un important producteur d'or (en 2023, avec 25,212 t) avec ses mines d'or sud-africaines. La répartition des revenus, selon les métaux produits, en 2021, est de 34,7 % pour Rh, 30,7 % pour Pd, 17,2 % pour Au, 12,3 % pour Pt, 1,6 % pour Ir, 0,8 % pour Ru et 1,3 % pour Cr.
 - En Afrique du Sud détient 50 % de la mine de Kroondal avec [Anglo American Platinum](#), et, en 2023, la production de 5,793 t de platinoïdes,
 - détient 91 % des rejets miniers de Mile, adjacents à la mine de Kroondal, qui ont donné 1 611 kg de platinoïdes,
 - depuis juin 2019 détient 95,25 % de la mine de Marikana après l'acquisition de Lonmin avec, une production de 20,533 t de platinoïdes,
 - ainsi que le complexe minier de Rustenburg regroupant les mines de Bathopele, Khuseleka, Siphumelele et Thembelani avec une production, en 2023, de 20,479 t de platinoïdes.
 - Au Zimbabwe détient 50 % de la mine Mimosa, avec [Impala Platinum](#) et une production de 3,618 t de platinoïdes.
 - Aux États-Unis, exploite les mines de East Boulder et Stillwater. En 2023, la production de Stillwater est de 8,178 t de platine et de palladium et celle de East Boulder de 5,112 t.

Les réserves prouvées et probables sont en Afrique Australe de 246 millions de t de minerai renfermant 3,6 g/t de platinoïdes. Aux États-Unis, les réserves sont de 60,4 millions de t de minerai renfermant 13,5 g/t. En Afrique Australe, les proportions entre les divers éléments sont, selon les mines, comprises entre 46 % et 57 % pour Pt, 24 et 36 % pour Pd, 4 et 9 % pour Rh, 4 et 11 % pour Ru, 2 et 3 % pour Ir et 0,7 et 8 % pour Au alors qu'aux États-Unis elles sont de 78 % de Pd et 22 % de Pt.

- [Nornickel](#), est le quatrième producteur mondial de platine, le cinquième de rhodium et le premier producteur mondial de palladium avec, en 2022, une production de 20,248 t de platine, 86,779 t de palladium, 2,022 t, en 2017, de rhodium. Nornickel est d'abord un

producteur de [nickel](#) raffiné (n°2 mondial) et de [cuivre](#), avec, en 2022, une production de 219 000 t de nickel et 433 000 t de cuivre, les platinoïdes étant coproduits. La répartition des revenus du groupe sont, en 2021, par métaux, de 37,4 % pour le palladium, 21,2 % pour le cuivre, 20,1 % pour le nickel, 6,1 % pour le rhodium, 3,9 % pour le platine et 7,3 % pour les autres métaux. Le groupe exploite des mines en Russie, dans la péninsule de Taimyr (Polar Division) avec 4 mines souterraines (Komsomolsky, Oktyabrsky, Taimyrsky, Zapolyarny) et une mine à ciel ouvert (Medvezky-Ruchey) et dans celle de Kola (Kola MMC) avec les mines de Severny (souterraine et à ciel ouvert) et Kaula-Kotselvaara. En Russie, les réserves prouvées et probables sont de 1 058 millions de t de minerai renfermant 0,75 % de Ni, 1,38 % de Cu, 1,01 g/t de Pt, 3,66 g/t de Pd, 0,20 g/t de Au.

Par ailleurs exploitait, en Afrique du Sud, la mine de Nkomati détenue en commun 50/50 avec [ARM](#), qui a produit, en 2020-21, 2,088 t de platinoïdes, 8 016 t de Ni, 4 409 t de Cu, 500 t de Co et 116 000 t de chromite. La mine a été fermée fin février 2021.

- [Northam Platinum](#), exploite 4 mines souterraines dans le complexe du Bushveld, celles de Zondereinde et Eland à l'ouest et les deux de Booyensdal, à l'est. En 2022-23, les productions ont été de 15,348 t de platine, 7,657 t de palladium, 2,547 t de rhodium, 3,739 t de ruthénium, 0,939 t d'iridium, 293 kg d'or, 1 950 t de nickel, 1 183 t de cuivre et 1 065 757 t de chromite. Les réserves prouvées et probables sont de 295,8 millions de t de minerai renfermant 3,61 g/t de Pt, Pd, Rh et Au.
- [ARM](#) (African Rainbow Minerals) exploite, en Afrique du Sud, les mines de Two Rivers, à 54 % avec 46 % pour Impala Platinum et Modikwa, à 41,5 % avec 50 % pour Anglo American.
 - En 2022-23, la production totale de Two Rivers a été de 4,287 t de Pt, 2,667 t de Pd, 742 kg de Rh, 1,235 t de Ru, 284 kg de Ir, 74 kg de Au, 713 t de Ni, 366 t de Cu et 190 165 t de chromite avec des réserves prouvées et probables de 69,16 millions de t de minerai renfermant 3,30 g/t de platinoïdes et or dans la couche UG2 et 56,39 millions de t renfermant 2,75 g/t de platinoïdes et or dans la couche Merensky. La production sous forme de concentrés est totalement vendue à Impala Platinum,
 - celle de Modikwa, avec une production totale de 3,592 t de Pt, 3,314 t de Pd, 676 kg de Rh, 967 kg de Ru, 230 kg de Ir, 114 kg de Au, 762 t de Ni, 471 t de Cu et 99 476 t de chromite avec des réserves prouvées et probables de 38,54 millions de t renfermant 4,23 g/t de Pt, Pd, Rh et Au. La production sous forme de concentrés est totalement vendue à Anglo American Platinum,
 - La mine de Nkomati a été fermée fin février 2021.
- [Royal Bafokeng Platinum](#), a été acquis par Impala Platinum, en 2023, et est devenu Impala Bafokeng.
- Au Canada, [Vale](#) et [Glencore](#) extraient des platinoïdes de leurs mines de Nickel au côté de [Impala Platinum](#) qui exploite une mine de platinoïdes dans l'Ontario (voir plus haut).

Commerce international : en 2023.

Les États-Unis, ont importé 70 t de platine, 64 t de palladium, 11 t de rhodium, 11 t de ruthénium, 1,9 t d'iridium. Ils ont exporté 12 t de platine, 34 t de palladium, 0,18 t de rhodium et 0,62 t des autres 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 2023, dans le monde :

- 40,4 t de platine ont été recyclées provenant, à 79,7 % de la catalyse automobile, 17,6 % de la bijouterie et 2,7 % d'applications électriques et électroniques. En 2021, 30,9 % provient d'Amérique du Nord, 27,1 % d'Europe de l'Ouest, 18,7 % de Chine, 12,5 % du Japon.
- 87,3 t de palladium ont été recyclées provenant à 83,2 % de la catalyse automobile, 16,5 % d'applications électriques et électroniques. En 2021, 47,2 % provient d'Amérique du Nord, 15,9 % d'Europe de l'Ouest, 11,8 % du Japon, 10,3 % de Chine.
- 8,9 t de rhodium ont été recyclées provenant de la catalyse automobile. En 2021, 53,4 % provient d'Amérique du Nord, 17,8 % d'Europe de l'Ouest, 12,3 % du Japon, 2,7 % de Chine.

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.

Aux États-Unis, le groupe [Sibanye Stillwater](#) dans son complexe métallurgiques de Columbus dans le Montana, traite les minerais de ses mines de Stillwater et East Boulder avec une production, en 2023, de 13,290 t de platinoïdes et procède au recyclage de déchets, principalement de pots catalytiques, avec une production de 9,652 t de platinoïdes.

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, en 2023, 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 2017, ils étaient estimés à 80,1 t de platine, 41,2 t de palladium et 2,7 t de rhodium.

Situation française

En 2023.

Pas de production primaire.

Exportations :

- Platine brut ou en poudre : 1 276 kg à 71 % vers l'Italie, 13 % la Suisse, 5 % les États-Unis.
- Palladium brut ou en poudre : 1 887 kg à 35 % vers l'Espagne, 25 % vers la Suisse, 22 % l'Italie.

- Rhodium brut ou en poudre : 0,756 kg à 99 % vers l'Italie.
- Autres platinoïdes brut ou en poudre : 17,6 kg, à 53 % vers la Suisse, 20 % vers l'Italie, 9 % l'Irlande.

Importations :

- Platine brut ou en poudre : 397 kg à 45 % de Suisse, 16 % d'Italie, 15 % des États-Unis, 11 % de Colombie, 7 % du Royaume Uni.
- Palladium brut ou en poudre : 2 214 kg à 55 % d'Italie, 21 % d'Espagne, 12 % de Suisse, 5 % d'Allemagne.
- Rhodium brut ou en poudre : 11,577 kg à 59 % d'Italie, 28 % du Royaume Uni, 13 % d'Allemagne.
- Autres platinoïdes brut ou en poudre : 2 801 kg à 98 % d'Italie.

Utilisations

Consommations

Répartition, en 2023.

	Platine	Palladium	Rhodium, en 2015
Chine	29,4 %	21,6 %	20 %
Europe	20,9 %	21,8 %	26 %
Amérique du Nord	16,3 %	21,0 %	26 %
Japon	9,7 %	10,4 %	12 %
Total mondial, en 2023	236,6 t	322,6 t	34,7 t en 2023

Source : Johnson Matthey

Consommations mondiales des autres platinoïdes, en 2023 :

Ruthénium : 31,3 t.

Iridium : 7,0 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, elle 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 2023, dans le monde.

Catalyse automobile	44,0 %	Contrôle pollution	3,6 %
Bijouterie	17,9 %	Médical	3,5 %
Verre	10,2 %	Électronique	2,6 %
Chimie	8,5 %	Pétrole	2,3 %

Source : Johnson Matthey

L'Europe, avec, en 2023, 31,3 t de platine consommées en catalyse automobile représente 30,5 % de la consommation de ce secteur.

La Chine avec, en 2023, 14,8 t de platine consommées en bijouterie, représente 35,0 % 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 2023.

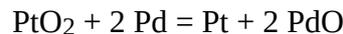
Catalyse automobile	84,3 %	Dentaire et médical	1,9 %
Chimie	5,2 %	Contrôle pollution	1,3 %
Électronique, électricité	4,9 %	Bijouterie	0,8 %

Source : Johnson Matthey

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 HNO_3 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](#).

L'utilisation dentaire du palladium est surtout importante au Japon, ce pays représentant, en 2018, avec 5 t, 44 % des utilisations dans ce secteur, sous forme d'un alliage avec l'or, appelé « kinpala », renfermant 20 % de palladium.

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

Rhodium : en 2023.

Catalyse automobile	88,8 %	Verre	1,7 %
Chimie	7,2 %	Électronique	0,6 %

Source : Johnson Matthey

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 2023.

Chimie	42,5 %	Électrochimie	13,1 %
Électronique, électricité	30,7 %	Autres	13,7 %

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](#). Il est aussi employé, avec le platine, comme catalyseur dans les piles à combustible. L'ajout de 0,1 % de Ru au [titane](#) permet d'augmenter considérablement sa résistance à la corrosion. En Chine, il est employé comme catalyseur dans la production de caprolactame et d'acide adipique destinés à la production de nylon 6 et 6.6. 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 2023.

Électrochimie	45,7 %	Chimie	12,9 %
Électronique, électricité	14,3 %	Autres	27,1 %

Source : Johnson Matthey

L'iridium est utilisé avec le ruthénium comme revêtement d'électrodes dans l'électrolyse de saumures pour la fabrication du [dichlore](#) et de l'[hydroxyde de sodium](#). Il est également employé 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.