

OR 2014

MATIÈRES PREMIÈRES :

La teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 0,005 ppm (5 ppb). L'[eau de mer](#) contient de 1 à 10 mg d'or/m³.

Minerais : les teneurs sont, en moyenne, de 2 à 20 ppm (ou g/t) et elles peuvent être plus importantes, par exemple, 120 ppm dans la partie souterraine de la mine de Porgera en Papouasie-Nouvelle Guinée lors du début de son exploitation. Lorsque l'or est récupéré comme sous-produit d'autre métaux, les teneurs peuvent être nettement plus faibles : l'or à la teneur de 0,5 ppm, associé à du [cuivre](#), est récupéré dans la mine de Bingham Canyon (Utah, États-Unis). En un siècle, la production de cette mine a été de plus de 500 t d'or.

Dans les minerais, l'or est très souvent présent sous forme métallique (état natif), fréquemment allié à l'[argent](#), souvent au cuivre, parfois au bismuth et à l'[uranium](#). Les minerais sont classés en fonction des autres composés associés à l'or, la présence de ces composés pouvant entraîner des difficultés de traitement. On distingue l'or libre, inclus ou non dans d'autres minéraux, de l'or associé à des sulfures de [fer](#) (pyrite : FeS₂, pyrrhotite : Fe_{1-x}S), de l'or associé à des sulfures d'arsenic (arsénopyrite ou mispickel : FeAsS) ou d'[antimoine](#) (stibine : Sb₂S₃). L'or associé à des sulfures de cuivre, nickel, [zinc](#) ou [plomb](#) est récupéré comme sous-produit des métallurgies correspondantes.

L'or libre se trouve dans des filons (en général riches en quartz), des chapeaux oxydés de minerais sulfurés ou des alluvions, sous forme de placers (dans ce cas, l'or est sous forme de paillettes ou de pépites) : le Witwatersrand d'Afrique du Sud est un placer fossile. Le plus gros amas d'or trouvé (mêlé à du quartz), la "plaque de Holterman", a été trouvé en 1872 à Hill End (Australie) : 1,42 m de long, 235 kg. La plus grosse pépite, "Welcome Stranger", a été trouvée à Black Lead (Australie), en 1869 : 71 kg d'or. En France, la plus grosse pépite conservée pèse 543 g. Elle a été trouvée aux Avols (07) et a été vendue, en 1911 au musée de l'Université Harvard (Massachusetts, États-Unis). En France, l'orpaillage artisanal produit, officiellement, de 2 à 3 t/an, principalement en Guyane.

Les découvertes de gisements d'or ont donné lieu à de nombreuses ruées vers l'or :

- 1721 dans le Mato Grosso puis en 1735 dans le Goiás (Brésil).
- 1838 dans les alluvions de la Tchara, en Transbaïkalie (sud de la Sibérie).
- 1848 à Colonna en Californie : les 2 premières années, l'or trouvé a rapporté 3 fois le prix payé par les États-Unis au Mexique pour la cession de la Californie. La production totale a été de 1 500 t. La ruée s'est poursuivie ensuite au Nevada, puis au Colorado.
- 1851 en New South Wales (Australie).
- 1884, découverte du plus important gisement de tous les temps : le Witwatersrand, près de Johannesburg (Afrique du Sud). La ruée a eu lieu en septembre 1888. A fourni depuis sa découverte et jusqu'en 2006 : 50 627 t d'or.
- 1886 dans la rivière Klondike (Yukon, Canada), célébrée par J. London puis C. Chaplin. La production a été de 280 t.

- 1898 près du détroit de Behring en Alaska, production de 230 t.
- 1980 à Morro da Babilonia, Serra Pelada, dans l'état de Para (Brésil). En 1982, 30 000 orpailleurs et porteurs étaient entassés sur 1 km².

Exploitations minières : environ 400 mines d'or sont en cours d'exploitation dans le monde.

Quelques exemples :

- Mine de Grasberg : située dans la partie indonésienne de l'île de Nouvelle Guinée et exploitée par la société PT Freeport Indonesia détenue à 90,64 % par [Freeport McMoRan Copper & Gold](#) et à 9,36 % par le gouvernement indonésien. La production a été, en 2014, de 35,1 t d'or et 288 490 t de cuivre. Située entre 2 500 et 4 200 m d'altitude, il est prévu qu'elle soit exploitée souterrainement jusqu'en 2027 et à ciel ouvert jusqu'en 2017. Les réserves prouvées et probables sont, en 2014, de 2 269 millions de t de minerai contenant 1,01 % de cuivre, 0,97 g/t d'or et 4,32 g/t d'argent. En 2014, 44 millions de t de minerai contenant en moyenne 0,79 % de cuivre, 0,99 g/t d'or et de l'argent ont été extraits. Les rendements de récupération sont de 90,3 % pour le cuivre, 83,2 % pour l'or. Les concentrés sont exportés par le port d'Amanapare.

- Mine de Yanacocha : située dans les Andes péruviennes, entre 3 500 et 4 100 m d'altitude, la société [Minera Yanacocha](#) est détenue à 51,35 % par [Newmont](#) et 43,65 % par la [Compania de Minas Buenaventura](#). L'exploitation qui a débuté en 1993, comporte 7 mines à ciel ouvert, 4 aires de lixiviation et 3 usines de traitement des minerais. Les réserves prouvées et probables sont de 99,1 millions de t de minerai contenant 0,78 g/t d'or et de 124,6 millions de t de minerai renfermant 8,6 g/t d'argent. La production est, en 2014, de 30,2 t d'or.

- Mine de Porgera en Papouasie-Nouvelle Guinée : ouverte en 1990, la mine, située entre 2 200 et 2 700 m d'altitude, est exploitée par [Barrick](#) qui en détient 47,5 % à égalité avec le groupe chinois [Zijin Metal](#). La production, en 2014, est de 16,1 t d'or. Les réserves prouvées et probables sont estimées à 93,3 t d'or.

PRODUCTIONS MINIERES : en 2014, en t de métal. Monde : 2 700 t, Union européenne (Finlande, Suède, Bulgarie...) : 18,4 t.

Chine	462,0	Afrique du Sud	167,9
Australie	272,4	Canada	151,3
Russie	266,1	Mexique	110,4
États-Unis	210,8	Ghana	104,1
Pérou	171,0	Brésil	90,5

Source : World Gold Council

En 2007, la Chine est devenue premier producteur mondial, devançant l'Afrique du Sud qui a été n°1 mondial pendant 102 années consécutives. En Chine, en 2014, la production des mines d'or représente 81,5 % de la production, celle des coproductions d'autres métaux non ferreux, 18,5 %. Depuis la préhistoire, la production mondiale totale d'or serait de l'ordre de 183 600 t, dont :

avant la fin de l'empire romain	10 000 t	au XIX ^{ème} siècle	12 000 t
au moyen âge	2 500 t	de 1900 à 1996	110 500 t

au XVII - XVIII ^{ème} siècle	4 000 t	de 1997 à 2014	44 600 t
---------------------------------------	---------	----------------	----------

Les 2/3 de la production mondiale depuis la préhistoire ont été extraits ces 50 dernières années. 32 % de cette production (50 627 t entre 1884 et 2006) provient du Witwatersrand sud-africain. Le maximum de la production sud-africaine a été atteint en 1975 avec près de 1 000 t soit, à l'époque, 67 % de la production mondiale.

La productivité annuelle varie de 1,7 kg par employé en Afrique du Sud à 41,7 kg/employé en Australie. En Afrique du Sud, les exploitations sont essentiellement souterraines alors qu'elles sont principalement à ciel ouvert en Australie.

Production minière d'Afrique du Sud :

Les gisements sont situés dans le Witwatersrand, à 1 500 m d'altitude. Il y a 2,5 milliards d'années (archéen), l'or charrié par des rivières s'est déposé sur les 50 000 km² d'une mer intérieure. Le gisement forme un arc de cercle de 480 km de long à cheval sur le Transvaal et l'État d'Orange. Les paillettes d'or sont présentes dans des bancs conglomératiques, appelés reefs. Les profondeurs atteintes sont, en moyenne, comprises entre 1 000 et 4 000 m sous la surface du sol avec des records à 4 121 m pour la mine de Driefontein et 4 020 m pour celle de Kloof. Les mines en activité emploient, en 2006, 159 984 mineurs (le maximum a été de 537 000 en 1987).

La raffinerie [Rand Refinery](#), détenue à 42,41 % par [AngloGold Ashanti](#), 33,15 % par [Sibanye Gold](#), 11,3 % par [DRD Gold](#), 10,38 % par [Harmony](#) et 2,75 % par [Goldfields](#), à Germiston, transforme principalement le doré produit par les installations minières en produits raffinés. Elle traite l'ensemble de la production du pays et la plus grande partie de celle-ci est achetée par la banque centrale d'Afrique du Sud qui la vend ensuite sur le marché mondial. La raffinerie affine également 75 % de la production africaine hors Afrique du Sud.

De 1868 à 1995, 80 000 mineurs ont péri dans les mines d'or (424 morts en 1994). En 1984, la production d'une once d'or, nécessitait l'extraction de 3,3 t de minerai, 39 heures de travail, 5,4 m³ d'eau, 572 kWh, 12 m³ d'air comprimé. Les mines d'or sud africaines consommaient 18 milliards de kWh soit 1/5 de la production d'Afrique du Sud et 1/10 de la production du continent africain.

[Sibanye Gold](#), société issue, en février 2013, de Gold Fields, a produit, en 2014, 49,4 t d'or en exploitant en Afrique du Sud, les mines de Driefontein, avec une production de 17,7 t, Kloof, avec 17,0 t, Beatrix, avec 10,4 t et Cooke, avec 4,3 t. Les réserves prouvées et probables sont de 856,3 millions de t de minerai renfermant 1 g/t d'or et 705,4 millions de t de minerai renfermant 0,66 % d'oxyde d'uranium U₃O₈.

La société [AngloGold Ashanti](#) a produit, en Afrique du Sud, en 2012, 38,0 t à partir de minerais d'une teneur comprise entre 5,6 et 11 g/t. Les opérations minières ont lieu dans 2 régions : Vaal River (mines de Great Noligwa avec 2,4 t, Kopanang avec 4,3 t, Moab Khotsong avec 7,3 t) et West Wits (mines de Mponeng avec 9,7 t et Tau Tona avec 7,2). L'exploitation en surface de terrils a donné 6,9 t. Les mines de Great Noligwa et Kopanang, ont également produit de l'oxyde d'uranium : 590 t d'oxyde U₃O₈ en 2014. Les réserves prouvées et probables d'or sont, en Afrique du Sud, de 847 millions de t de minerai à 1,01 g/t.

La société [Harmony](#), a produit, en 2014, en Afrique du Sud, 33,1 t, dans les mines de Doornkop, avec 2,6 t, Kasasalethu, avec 4,7 t, Bambanani, avec 2,6 t, Joel, avec 2,3 t, Masimong, avec 2,7 t, Phakisa, avec 3,0 t, Steyn, avec 0,4 t, Target, avec 5,9 t, Tshepong, avec 4,2 t, Unisel, avec 1,8 t,

Kalgold, avec 1,2 t, Phoenix, avec 0,8 t, Dumps, avec 0,9 t. Les réserves prouvées et probables sont de 869 t d'or.

La société [Gold Fields](#) a produit 6,25 t, en 2014. Elle exploite depuis 2007 la mine souterraine de South Deep, avec l'extraction de 1,3 million de t de minerai renfermant 4,7 g/ d'or. Les réserves sont de 204,9 millions de t à 5,3 g/t.

[DRD Gold](#), traite les terrils accumulés au cours des exploitations antérieures et a produit, en 2014, 4,1 t d'or.

Production minière des Etats-Unis : 30 mines donnent 99 % de la production. Celle-ci provient à 72 % du Nevada et 12 % d'Alaska. Au Nevada, les mines les plus importantes, Cortez (28,1 t, en 2014) et Goldstrike (28,1 t, en 2014), située à 6 km de Cortez, sont exploitées par Barrick. La mine Goldstrike située à 60 km au nord-ouest d'Elko est exploitée à ciel ouvert (mine Betze-Post) et souterrainement (mines de Meikle et Rodeo). Les réserves prouvées et probables sont estimées à 74 millions de t de minerai à 3,24 g/t, soit 240 t d'or pour la mine à ciel ouvert et à 6,7 millions de t de minerai à 8,83 g/t, soit 59 t d'or pour les mines souterraines. Aux Etats-Unis, en 2014, une coproduction, principalement à partir de minerais de cuivre, représente 7 % de la production totale.

En Europe de l'Ouest, l'or est principalement coproduit des métallurgies du [cuivre](#), [zinc](#), [plomb](#) et [nickel](#).

Situation française : les exploitations métropolitaines ont été toutes fermées. La production d'or est limitée, en 2014, à la Guyane. Les dernières mines exploitées ont été les suivantes :

- La mine de Salsigne (11), fermée fin 2004, a été au cours du XX^{ème} siècle la plus importante mine européenne. Elle a été exploitée depuis 1892 et 1924 pour l'or. Elle était en partie à ciel ouvert, en partie souterraine, à 430 m de profondeur, avec 100 km de galeries. Le minerai est sulfuré à prédominance de pyrite, pyrrhotite et mispickel. Les teneurs moyennes sont les suivantes : Au : 8 à 10 g/t, [Ag](#) : 20 g/t, [Cu](#) : 1 kg/t. Au total, la production a été de 100 t d'or et 300 t d'argent. En 1996-97, la production de la mine à ciel ouvert a été d'environ 350 000 t de minerai pour 4,5 millions de t remuées, celle de la mine souterraine de 100 000 t de minerai. La production d'or a été de 2,64 t d'or et celle d'argent de 1,82 t.

Après extraction, le minerai, broyé à environ 75 micromètres, était concentré par flottation à une teneur de 20 à 25 ppm puis, après un nouveau broyage à 25 micromètres, traité par cyanuration dans une série de 9 cuves. Dans la première, la suspension de concentré était oxygénée, de la 2^{ème} à la 4^{ème} la cyanuration était effectuée. Dans les 5 dernières cuves, les complexes d'or et d'argent étaient adsorbés sur [charbon actif](#). L'or et l'argent étaient récupérés en traitant le charbon actif par une solution alcaline d'ions cyanure, sous pression, à 120°C, puis en effectuant une électrolyse de la solution obtenue. L'or et l'argent se déposaient sur une cathode en laine d'acier. L'ensemble était ensuite fondu en présence de [borax](#) et de [silice](#) afin d'éliminer le [fer](#) par formation d'un laitier, vers 1200°C. Le charbon actif était régénéré par chauffage à 750°C.

Pendant longtemps, la mine de Salsigne a produit de l'[arsenic](#) à partir d'arsénopyrite et a été le plus important producteur mondial (10 000 t/an).

- Les mines du Bourneix et de Laurières, situées à la limite de la Haute Vienne et de la Dordogne, ont été exploitées de 1982 à 2001 par la Société des mines du Bourneix, filiale du groupe Cogema. Les gisements sont constitués de filons siliceux avec ou sans sulfures (mispickel, pyrite et [galène](#)).

L'or est finement disséminé dans le mispickel ou libre. La teneur moyenne des mines souterraines était de 12 à 16 g/t, celle des mines à ciel ouvert de 6 à 9 g/t. L'exploitation comprenait 2 mines souterraines jusqu'à 300 m de profondeur et une mine à ciel ouvert. L'unité de concentration, située sur le site du Bourneix, se composait d'un atelier de broyage et d'un atelier de flottation, avec une durée de flottation 30 minutes.

La pulpe, contenant 40 % de matière solide, à un pH de 10,5 obtenu par ajout de [chaux](#), était cyanurée dans 6 cuves agitées pendant 48 h. Le complexe aurocyanure était ensuite fixé sur du [charbon actif](#) dans 10 cuves. Chaque cuve contenait 150 kg de charbon qu'un tamis empêchait d'aller dans la cuve suivante. Le charbon de la cuve de tête recevant les jus aurifères après attaque au cyanure, contenait environ 55 kg d'or par tonne de charbon. Cette cuve était vidangée et tamisée après 12 ou 24 h de marche. Le charbon chargé en or et argent constituait le produit marchand qui était livré aux affineurs. En 1996, la production a été de 2 057 kg d'or, 118 kg d'argent, contenus dans 156 904 t de minerai, soit 14,15 g d'or/t. La production de concentrés a été de 4 665, soit 455 g d'or/t.

On estime que, jusqu'en 1997, la production limousine a été d'une quarantaine de tonnes : quelques tonnes à l'époque gallo-romaine, 10 t de 1920 à 1944 et 22 t depuis 1982.

- [Les mines du Rouez](#) : situées dans la Sarthe (72) à 30 km au Nord-Ouest du Mans, elles ont été exploitées entre 1989 et 1995. Le gisement a été découvert en 1975 par exploration géophysique (électromagnétique) aéroportée et par mise en évidence d'une anomalie géochimique polymétallique qui ont montré la présence d'un amas sulfuré qui avait été, il y a plusieurs siècles, exploité pour le [fer](#) contenu.

L'amas sulfuré a la composition moyenne suivante : pyrite : 43 %, pyrrhotite : 22 %, sidérite : 19 %, [blende](#) : 2,5 %, [chalcopryrite](#) : 1,7 %, [galène](#) : 0,3 %, arsénopyrite : 0,2 %. La teneur en argent est de 21,4 ppm et celle en or de 1,49 ppm. Ces teneurs en métaux précieux sont trop faibles pour envisager, actuellement, une exploitation économiquement rentable de l'ensemble du minerai. Le gisement qui s'étend sur 800 à 900 m de long et 150 à 200 m de large renferme plus de 100 millions de t de minerai, sur une profondeur supérieure à 500 m.

Par contre, dans le sommet de l'amas sulfuré (zone dans laquelle les sulfures de fer sont oxydés en hématite, goethite, limonite), sur une profondeur de 20 à 30 m, la concentration en or est 10 fois supérieure. La quantité totale de minerai exploitable a été de 250 000 t à une teneur moyenne de 11 g d'or/t et 50 g d'[Ag](#)/t.

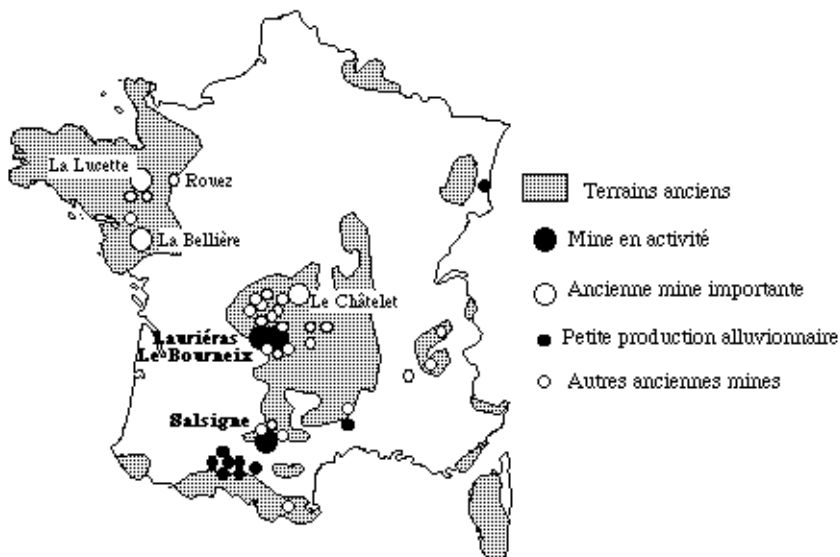
L'exploitation a été réalisée à ciel ouvert, dans deux mines. Le taux de découverte était d'environ 4 et l'extraction journalière de l'ordre de 1 000 m³. Le minerai normal titrant moins de 15 g d'or/t a été traité par lixiviation en tas, le minerai riche, à plus de 15 g/t, par lixiviation dynamique en cuves. La nature du minerai ne permettant pas une concentration préalable tout le minerai a été traité par lixiviation. Au total, de 1989 à 1995, la mine a fourni 2,8 t d'or et 15 t d'argent.

- [La Guyane](#) : les minéralisations aurifères se sont mises en place il y a 2 milliards d'années au moment où les continents américain et africain n'étaient pas séparés. Ainsi, les gisements de Guyane sont le prolongement de ceux de l'Ouest africain. La première pépite a été découverte, en 1854, dans le bassin de l'Approuague. La plus grande partie de la production est alluvionnaire et assurée par des orpailleurs ou des PME. La production déclarée est passée de 544 kg en 1989 à 2 693 kg en

2006 et 2 000 kg, en 2010. Les quantités extraites illégalement sont estimées à 7 à 10 t/an. Des groupes miniers internationaux commencent à s'intéresser à l'exploitation de gisements filoniens.

L'or en France métropolitaine

(d'après C. Guillemin, Z. Johan et E. Marcoux, La vie des Sciences, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, série générale, tome 6, 1989, n°5, p337-367, que nous remercions).



Réserves minières : en 2014, en t d'or contenu. Monde : 55 000 t.

Australie	9 800	Indonésie	3 000
Afrique du Sud	6 000	Brésil	2 400
Russie	5 000	Pérou	2 100
Chili	3 900	Canada	2 000
États-Unis	3 000	Ghana	2 000

Source : USGS

Producteurs : principaux, en 2014, en t.

Barrick Gold (Canada)	194,4	Newcrest Mining (Australie)	74,6
Newmont Mining (Etats-Unis)	150,9	Gold Fields (Afrique du Sud)	71,4
AngloGold Ashanti (Afrique du Sud)	136,9	Navoi Mining (Ouzbekistan) estimation	60
GoldCorp (Canada)	89,3	Polyus (Russie)	52,8
Kinross (Canada)	84,3	Sibanye Gold (Afrique du Sud)	49,4

Sources : rapports des sociétés

[Barrick](#) exploite :

- aux Etats-Unis, dans le Nevada la mine de Cortez, avec, en 2014, la production de 28,1 t, celle de Goldstrike, avec 28,1 t, de Round Mountain, à 50 %, avec 5,1 t, Bald Mountain, avec 5,0 t, Turquoise Ridge, à 75 %, avec 6, 1 t, Marigold, à 33 %, vendue, avec 0,3 t, Ruby Hill, avec 1,0 t et une mine dans le Montana, Golden Sunlight, avec 2,7 t.

- au Canada, dans l'Ontario, Hemlo Property, avec 6,4 t.
- en République Dominicaine, Pueblo Viejo, à 60 %, avec 20,7 t.
- au Pérou, Lagunas Norte, avec 18,1 t et Pierina, vendue, avec 0,5 t.
- en Argentine, Veladero, avec 22,5 t.
- en Australie, Kalgoorlie, à 50 %, avec 10,1 t, Cowal, avec 8,3 t, Kanowna, vendue, avec 1,2 t et Plutonic, vendue, avec 0,2 t.
- en Papouasie Nouvelle Guinée, Portega à 47,5 %, avec 15,3 t.
- en Tanzanie, avec 63,9 % des mines de Bulyanhulu, avec 4,8 t, North Mara, avec 5,6 t, Buzwagi, avec 4,3 t.

Par ailleurs, Barrick produit du cuivre, au Chili, à Zaldivar, avec 100 700 t et en Zambie, à Lumwana, avec 97 100 t.

Les réserves totales, prouvées et probables, de Barrick sont de 2,1 millions de t de minerai renfermant 1,37 g/t d'or.

[Newmont Mining Corporation](#) exploite :

- aux Etats-Unis, dans le Nevada, les mines de Carlin (4 à ciel ouvert et 4 souterraines), près d'Elko, avec, en 2014, une production de 28,2 t d'or, de Phoenix près de Battle Mountain, avec 6,6 t d'or et 20 900 t de cuivre, de Twin Creek, près de Golconda, avec 12,1 t d'or.
- au Mexique, Newmont détient 44 % des parts, vendues en octobre 2014, de la mine de La Herradura, dans le désert de Sonora, avec 3,9 t.
- au Pérou, Newmont détient 51,35 % de la mine de Yanacocha, avec 15,5 t, et 46,94 % de la mine de La Zanja, près de Cajamarca, avec 2,1 t.
- en Australie, Newmont exploite des mines en Australie Occidentale, à Boddington, avec 21,6 t d'or et 31 300 t de cuivre, Kalgoorlie, à 50 %, avec 10,2 t, Jundee, vendue en juillet 2014, avec 4,3 t, Duketon, à 19,75 %, avec 1,8 t et dans les Territoires du Nord, à Tanami, avec 10,7 t.
- en Nouvelle Zélande, la mine de Waihi qui a donné 4,1 t.
- en Indonésie, celle de Batu Hijau, avec 31,5 % de participation a donné 1,15 t d'or et 34 470 t de cuivre.
- au Ghana, la mine d'Ahafo a produit 13,7 t d'or et celle d'Akyem, 14,7 t.

La production totale de cuivre a été de 86 500 t.

Les réserves totales, prouvées et probables, de Newmont sont de 2 557 t d'or.

[AngloGold Ashanti](#) exploite outre en Afrique du Sud, voir ci-dessus :

- au Ghana, les mines d'Iduapriem, avec, en 2014, une production de 5,5 t et d'Obuasi avec 7,6 t.
- en Guinée, 85 % de la mine de Siguiri, avec 9,0 t.
- au Mali, 40 % de la mine de Morila, avec 1,4 t, 41 % de celle de Sadiola, avec 2,6 t et 40 % de la mine de Yatela, avec 0,3 t.
- en Tanzanie, la mine de Geita, avec 14,8 t.
- en République Démocratique du Congo, 45 % de la mine de Kibali, avec 7,4 t.
- en Australie, la mine de Sunrise Dam, avec 8,1 t et 70 % de celle de Tropicana, avec 11,1 t.
- au Brésil, la mine de Serra Grande, avec 4,2 t et celle d'AGA Mineração, avec 12,5 t.
- aux Etats-Unis, la mine de Cripple Creek & Victor, avec 6,6 t.
- en Argentine, 92,5 % de la mine de Cerro Vanguarda, avec 7,7 t.

Outre la production d'uranium en Afrique du Sud, la production d'or a co-produit de l'acide sulfurique au Brésil (200 000 t/an) et de l'argent en Argentine (96 t).

Les réserves totales prouvées et probables sont de 1 350 millions de t de minerai renfermant 1,32 g/d'or soit 1 788 t d'or.

GoldCorp exploite :

- au Canada, dans l'Ontario, les mines de Red Lake, avec, en 2014, une production de 12,9 t, Porcupine avec 9,3 t, Musselwhite, avec 8,7 t et au Québec, Eléonore, avec 0,6 t.
 - aux Etats-Unis, Wharf, avec 2,2 t, vendue en 2015 et Marigold, à 66,7 %, avec 0,7 t, également vendue en 2014.
 - au Mexique, dans l'état de Zacatecas, la mine d'or, argent, plomb et zinc de Peñasquito, avec 17,7 t d'or, 803 t d'argent, 69 083 t de plomb, 149 552 t de zinc, El Sauzal, dans l'état de Chihuahua, avec 1,2 t et celle de Los Filos, dans l'état de Guerrero, avec 8 t.
 - en République Dominicaine, la mine d'or et d'argent de Pueblo Viejo, à 40 %, avec 13,8 t d'or et 48 t d'argent.
 - au Guatemala, la mine d'or et d'argent de Marlin, avec 5,8 t d'or et 227 t d'argent.
 - en Argentine, la mine d'or et d'argent de Cerre Negro, avec 4,7 t d'or et 67 t d'argent et celle d'or et de cuivre d'Alumbrera, à 37,5 %, avec 3,7 t d'or et 38 465 t de cuivre.
- Par ailleurs, les co-productions sont, en 2014, de 1 145 t d'argent, 38 465 t de cuivre, 69 083 t de plomb, 149 552 t de zinc.
- Les réserves prouvées et probables sont, en 2014, de 1 542 t d'or, 24 526 t d'argent, 2,3 millions de t de cuivre, 1,7 million de t de plomb, 4,1 millions de t de zinc.

Kinross exploite :

- aux Etats-Unis, la mine de Fort Knox, en Alaska, avec, en 2014, une production de 11,8 t d'or, celle de Kettle River-Buckhorn, dans l'état de Washington, avec 3,8 t et 50 % de celle de Round Mountain, dans le Nevada, avec 5,3 t.
 - au Brésil, la mine de Paracatu, avec 16,2 t.
 - au Chili, la mine de Maricunga, avec 7,7 t.
 - en Mauritanie, la mine de Tasiat, avec 8,1 t.
 - au Ghana, 90 % de la mine de Chirano, avec 7,4 t.
 - en Russie, la mine de Kupol, avec 23,4 t d'or et 132,8 t d'argent.
- Les réserves prouvées et probables sont de 1,49 million de t de minerai renfermant 0,72 g/t d'or, 312 280 t renfermant 4,4 g/t d'argent et 299 400 t renfermant 0,15 % de cuivre.

Newcrest Mining exploite :

- en Australie, la mine de Cadia Valley, en Nouvelle Galle du Sud, avec en 2014, une production de 18,4 t d'or et 60 612 t de cuivre et la mine de Telfer, dans la région de Pilbara, en Australie Occidentale, avec 16,7 t d'or et 25 506 t de cuivre.
 - en Papouasie Nouvelle Guinée, la mine de Lihir, dans l'île de Niolam, avec 22,4 t et 50 % de la mine de Hidden Valley, avec 3,3 t.
 - en Indonésie, 75 % de la mine de Gosowong, dans l'île de Halmahera, avec 10,7 t.
 - en Côte d'Ivoire, 89,89 % de la mine de Bonikro, avec 3 t.
- Par ailleurs, l'exploitation de l'or donne une co-production de 86 118 t de cuivre.
- Les réserves prouvées et probables sont, en 2014, de 2 333 t d'or, 2 302 t d'argent et 11 millions de t de cuivre.

Gold Fields exploite outre la mine de South Deep, en Afrique du Sud, voir plus haut :

- en Australie, les mines de St Ives, avec, en 2014, une production de 11,25 t d'or, Agnew et Lawlers, avec 8,4 t, Darlot, avec 2,6 t, Granny Smith, avec 9,8 t.
- au Ghana, les mines de Tarkwa, avec 17,4 t et Damang, avec 5,5 t.
- au Pérou, la mine de Cerro Corona, avec 10,2 t d'or et 36 000 t de cuivre.

Les réserves prouvées et probables d'or sont de 1 667 t, et celles de cuivre, à Cerro Corona, sont de 60,2 millions de t de minerai renfermant 0,47 % de cuivre.

[Navoi Mining](#) exploite, en Ouzbékistan, la mine à ciel ouvert de Muruntau.

[Polyus](#) exploite, en Russie, en Sibérie, dans la région de Krasnoyarsk, les mines d'Olimpiada, avec, en 2014, une production de 22,9 t, de Blagodatnoye, avec 12,3 t, de Titimukhta, avec 2,9 t, dans la région d'Irkutsk, la mine de Verninskoye, avec 4,5 t, des alluvions dans cette même région, avec 5,9 t et la mine de Kuranakh, dans le Nord-Est de la Sibérie, avec 4,3 t.

Les réserves prouvées et probables sont de 925 millions de t renfermant 2,21 g/t, soit 2 046 t d'or.

[Sibanye Gold](#), exploite des mines en Afrique du Sud, voir plus haut.

TRAITEMENT DES MINERAIS : les procédés dépendent de la nature des minerais. Voir également ci-dessus quelques exemples concernant les gisements français.

- La gravimétrie : concerne l'or libre alluvial dont les particules sont > 75 µm. Les installations industrielles récupèrent d'abord une partie de l'or libre par gravimétrie à l'aide de tables à secousses ou de concentrateurs centrifuges. La gravimétrie est aussi utilisée dans les installations artisanales des orpailleurs : batée ou laveries formées de canaux de bois munis de baguettes (sluice). Cette technique, peu coûteuse, permet d'exploiter des gisements de très faible teneur (de l'ordre 1 g/m³), mais la récupération des fines particules est faible malgré l'utilisation de canaux tapissés de velours ou de concentrateurs centrifuges.

- La flottation, après broyage, est systématiquement utilisée lorsque l'or est associé à des sulfures métalliques. Elle précède le traitement ultérieur de cyanuration.

- Le grillage est utilisé lorsque l'or est associé à des sulfures de [Fe](#), [Ni](#), [Sb](#), car il facilite les traitements ultérieurs en rendant le minerai poreux. Le grillage est de plus en plus remplacé soit par une lixiviation sous pression d'oxygène, en autoclave, soit par une biolixiviation.

- L'amalgamation consiste à allier l'or (et l'[argent](#)) avec du [mercure](#) et à décomposer l'alliage (25 à 50 % d'or) par distillation du mercure, vers 400-500°C. Actuellement cette technique, très polluante, est utilisée seulement dans des installations artisanales.

L'extraction hydrométallurgique par cyanuration : inventée en 1888, c'est le procédé le plus utilisé (environ 80 % de la production mondiale).

- Le minerai broyé (< 0,1 mm) est traité par une solution diluée (0,5 g/L) de cyanure de sodium en milieu basique (pH > 10 pour éviter la libération de cyanure d'hydrogène (HCN) très toxique) et en présence de [dioxygène](#) :



- Après traitement de 12 à 48 h, la solution contient quelques g d'or par m³. La consommation de NaCN est de 0,2 à 1 kg/t de minerai. L'extraction de l'or consomme environ 13 % de la production mondiale de cyanure de sodium.

- La solution contenant le complexe aurocyanure peut être traitée par cémentation (procédé Merrill-Crowe) par du [zinc](#). Au se dépose sur les particules de Zn, qui attaqués par [H2SO4](#) libèrent l'or. Le métal obtenu (doré) contient jusqu'à 5 % d'impuretés métalliques. Les minerais riches en argent sont

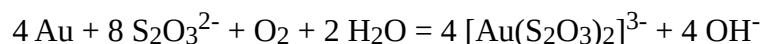
traités, de préférence, par ce procédé. De plus en plus, la fixation de l'or sur [charbon actif](#) est utilisée. 1 t de charbon statique peut adsorber 70 kg d'or. La solution d'ions aurocyanures et la pulpe ne sont pas séparés et passent dans des cuves contenant le charbon actif. Le temps de contact charbon-pulpe est de l'ordre de 1 h, le temps de séjour du charbon de plusieurs jours. L'or est récupéré en traitant le charbon par une solution chaude (70°C) à 1 % de [NaOH](#) et 0,1 % de NaCN. La solution obtenue contient quelques g d'or par litre. Le charbon est recyclé après chauffage à 600-750°C, à l'abri de l'air. L'or est récupéré par électrolyse. Il se dépose sur une cathode en laine de [fer](#), puis est fondu. L'or obtenu est de haute pureté.

- La biolixiviation, par exemple avec thiobacillus ferro-oxydans, permet de transformer les sulfures en sulfates en libérant l'or ce qui rend la cyanuration plus efficace.

- La lixiviation en tas de minerais de faible teneur (moins de 1 g/t) utilise le même principe de formation d'un complexe cyanuré. Le traitement qui dure de quelques semaines à plusieurs mois pour des rendements de 40 à 85 % a été utilisé, par exemple à Rouez, en France.

- L'hydrométallurgie est également utilisée pour traiter les rejets d'anciennes laveries ou les stériles d'anciennes mines (par exemple à Salsigne, en France).

Extraction hydrométallurgique à l'aide de thiosulfate : le traitement par cyanuration présentant des risques lors de son utilisation ainsi que pour l'environnement, un traitement alternatif commence à être employé. Il consiste à complexer l'or par des ions thiosulfate, en présence de dioxygène, à pH compris entre 8 et 10, selon la réaction suivante :



La présence d'ammoniac est favorable et la réaction est catalysée par des ions Cu(II). La concentration en ions thiosulfate doit être nettement plus importante que celle des ions cyanure : de 5 à 20 g/L au lieu de 0,25 à 1 g/L. Le thiosulfate d'or s'adsorbant faiblement sur le charbon actif il est nécessaire d'employer d'autres techniques de récupération, cémentation ou résines échangeuses d'ions.

La première exploitation industrielle a eu lieu, en 2014, à la mine de Goldstrike, aux Etats-Unis, dans le Nevada, exploitée par Barrick. Le traitement est réalisé à l'aide de thiosulfate de calcium. La récupération de l'or est effectué sur des résines échangeuses d'ions et les ions thiosulfate sont recyclés à l'aide d'une osmose inverse. La production prévue est de 11 à 14 t/an d'or.

Affinage :

- Le métal obtenu par cémentation est fondu et traité par [Cl₂](#) à 1150°C (procédé Miller). Les impuretés métalliques donnent des chlorures volatils ou liquides qui sont éliminés. L'or obtenu a un titre en général supérieur à 995/1000 et contient jusqu'à 0,35 % d'[Ag](#). Il est coulé en barres de 12,5 kg.

- De l'or à 999,9/1000 peut être obtenu par affinage électrolytique à anode soluble (procédé Wohlwill). La cathode est en or pur, l'or à affiner constituant l'anode, l'électrolyte est une solution d'acide aurichlorhydrique (HAuCl₄), les cellules sont en céramique.

RECYCLAGE :

Estimé mondialement à 1 266 t, en 2014, soit 26 % de la consommation. Il avait atteint un record, en 2009, de 1 728 t soit 42 % de la consommation. Il est alimenté, à 90 %, par les bijoux, les lingots et les monnaies et à 10 % par les déchets industriels, principalement ceux des équipements électriques et électroniques qui, actuellement, ne sont recyclés qu'à environ 20 %.

Par exemple, les circuits imprimés de tablettes et de téléphones mobiles contiennent, en 2010, de 200 à 350 g d'or/t. Le contenu en or, platine et argent, en fin de vie d'un téléphone mobile, constituait, en 2010, 93 % de sa valeur. En 2014, le recyclage des déchets des industries électriques et électroniques a été de 442 000 t.

Parmi les sociétés intervenant dans cette activité :

- [Umicore](#), à Hoboken, en Belgique.
- [Aurubis](#), en Allemagne, à Lünen et Hambourg, avec, en 2013/14, le traitement de 72 000 t de déchets d'équipements électriques et électroniques et une production de 43 t d'or et 1 000 t d'argent.
- [Boliden](#), en Suède, à Rönnskär, avec, en 2014, une capacité de traitement de 120 000 t/an de déchets et une production de 13 t d'or et 479 t d'argent, 25 000 t de plomb, 39 000 t de zinc et 217 000 t de cuivre.

Outre le recyclage, pour obtenir l'offre totale en or, il faut ajouter à la production minière éventuellement les ventes des réserves d'or des états et institutions internationales. En 2012, les exploitations minières ont fourni 64 % de l'approvisionnement en or, le recyclage 36 %, les ventes des banques centrales ont été marginales avec 20 t.

SITUATION FRANÇAISE : en 2014.

- Production minière : 3,5 t dont 2,0 t en Guyanne.

Production totale des mines d'or françaises au XX^{ème} siècle : en kg.

Salsigne (11) de 1906 à 1991	90 000	Chéni (87) de 1921 à 1944	7 500
Châtelet (23) de 1905 à 1955	10 973	Rouez (72) de 1989 à 1995	2 800
La Bellière (49) de 1905 à 1952	10 400	Fau-Marié (87) de 1993 à 1996	1 116
Le Bourneix (87) de 1982 à 1995	10 120	La Fagassière (87) de 1928 à 1945	575
Laurières-Puits-Roux (87) 1988-96	9 380	La Petite-Fage (23) de 1957 à 1962	321
La Lucette (53) de 1905 à 1934	8 700	Beaune (87) de 1924 à 1931	288

Source : P.C. Guiollard, Les mines d'or et d'argent de Rouez, 1993

UTILISATIONS :

Consommations, en 2013, en tonnes. Monde : 4 527 t.

Chine	1 215	Allemagne	123
Inde	975	Viet Nam	96
Etats Unis	190	Emirats Arabes Unis	77
Turquie	175	Arabie Saoudite	74
Thaïlande	165	Russie	73

Sources : World Gold Council

- Sur la quantité totale d'or produite dans le monde, estimée à 183 600 t depuis la préhistoire, environ 176 000 t subsistent fin 2013. Les personnes privées en détiendraient 20 % sous forme de

pièces et lingots, principalement en France (2 500 à 5 000 t), Inde, États-Unis. 49 % de la production serait sous forme de bijoux et 12 % dans des applications industrielles.

Secteurs d'utilisation : en 2014, dans le monde, sur un total de 4 220 t :

Bijouterie	58 %	Électronique	6,6 %
Investissements, lingots et monnaies	19 %	Prothèses dentaires	0,5 %
Banques centrales	14 %	Industries diverses	1,2 %

Sources : World Gold Council

Propriétés : inaltérable à l'air et dans l'eau et le plus malléable et ductile de tous les métaux : 1 g peut s'étirer sur plus de 3 km ou donner une feuille de plus de 1 m².

Alliages : la teneur en or est exprimée en millièmes (anciennement en carats) : 24 carats pour l'or pur, 18 carats (750/1000 en masse d'or), 14 carats (583/1000), 9 carats (375/1000), 8 carats (333/1000).

Les principaux alliages pour bijouterie commercialisés en France, contiennent 75 % en masse d'or, avec en plus :

Or jaune	12,5 % Ag , 12,5 % Cu	Or gris	10 % Cu, 12,5 % Ni , 2,5% Zn
Or rose	9 % Ag, 16 % Cu	Or rouge	4,5 % Ag, 20,5 % Cu

- **Bijouterie** : l'appellation plaqué or ne peut être légalement utilisée, en France, que si le titre est supérieur à 500 ‰ et l'épaisseur du revêtement > 5 micromètres pour l'horlogerie. Le plaquage est réalisé par électrolyse d'un bain Au-Cu-[Cd](#) en milieu cyanuré à pH 10-10,5 et à 60-65°C. La cathode est constituée par la pièce à plaquer et l'anode est en [titane](#) recouvert de platine.

- **Dorure** : par exemple, la dorure du dôme de l'hôtel des Invalides à Paris a utilisé 550 000 feuilles d'or à 23,5 carats (98 % Au, 1 % Ag, 1 % Cu) de 0,2 micromètres d'épaisseur et de 60 cm², soit 23 g d'or pour 1000 feuilles et, au total, 12,5 kg d'or.

- **Réserves des banques centrales** : fin 2013, en t.

Etats Unis	8 133	Suisse	1 040
Allemagne	3 387	Russie	1 035
Italie	2 452	Japon	765
France	2 435	Pays Bas	612
Chine	1 054	Inde	558

Sources : World Gold Council

L'or a joué le rôle d'étalon monétaire de 1717 au 15 août 1971 avec la fin de la convertibilité du dollar en or. Son rôle s'explique moins par sa relative rareté, les gisements aurifères sont plus nombreux que ceux de nombreux autres éléments, que par son inaltérabilité aux agents atmosphériques. Entre 1959 et 1971, la couverture, par le stock d'or des Etats-Unis, des dollars émis est passé de 100 % à 13 %.

- **Électronique** : dans cette industrie, l'or est principalement déposé par électrolyse, afin d'assurer de bons contacts électriques.

- Dentisterie : l'or est employé pour son excellente résistance à la corrosion et sa biocompatibilité.