

OR 2019

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 : leurs teneurs sont, en moyenne, de 0,5 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'autres métaux, les teneurs peuvent être nettement plus faibles : l'or à une teneur de 0,16 ppm, associé à du [cuivre](#), est récupéré dans la mine de Bingham Canyon (Utah, États-Unis). En 2019, les productions de cette mine, exploitée par [Rio Tinto](#), ont été de 186 800 t de Cu, 11 200 t de Mo, 87,6 t de Ag et 7,3 t de Au. En un siècle, la production de cette mine a été de plus de 500 t d'or. Les réserves prouvées et probables sont de 612 millions de t de minerai renfermant 0,43 % de Cu, 0,034 % de Mo, 2,04 g/t de Ag et 0,16 g/t de Au.

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 coproduit 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 Holtermann », 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 Nouvelle Galle du Sud (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 48,76 % par [Freeport McMoRan Copper](#) et à 51,24 % par l'État indonésien. La production a été, en 2019, de 26,8 t d'or et 565 000 t de cuivre. Située entre 2 500 et 4 200 m d'altitude, elle comprend 3 mines souterraines en exploitation : Grasberg Block Cave (GBS), Deep Ore Zone (DOZ) et Big Gossan. La production de la mine à ciel ouvert qui a débuté en 1990 s'est terminée en 2019 après avoir produit 12,2 millions de t de cuivre et 1 431 t d'or. Les réserves prouvées et probables sont, fin 2019, pour DOZ de 29 millions de t renfermant 0,50 % de Cu, 0,48 g/t de Au et 2,46 g/t de Ag, celles de Big Gossan de 55 millions de t renfermant 2,33 % de Cu, 0,97 g/t de Au et 14,04 g/t de Ag. Par ailleurs les réserves prouvées et probables de GBS sont de 959 millions de t de minerai contenant 0,97 % de cuivre, 0,73 g/t d'or et 3,67 g/t d'argent et celles d'un gisement (DMLZ) se situant sous DOZ sont de 429 millions de t de minerai contenant 0,92 % de cuivre, 0,75 g/t d'or et 4,40 g/t d'argent. 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, elle est exploitée par la société [Minera Yanacocha](#) qui est détenue à 51,35 % par [Newmont](#), 43,65 % par la [Compania de Minas Buenaventura](#) et 5 % par [Sumitomo Corporation](#). 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, fin 2019, de 125,5 millions de t de minerai contenant 0,87 g/t d'or, 12,7 g/t de Ag et 0,63 % de Cu. La production est, en 2019, de 16,4 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](#) et 5 % par Mineral Resources Enga. La production, en 2019, est de 18,5 t d'or. Les réserves prouvées et probables sont estimées à 31,6 millions de t de minerai renfermant 4,81 g/t d'or.

Principales mines exploitées selon leur production de 2019 :

en tonnes d'or contenu			
Muruntau (Ouzbekistan)	62,2	Lihir (Papouasie Nll. Guinée)	27,4
Olimpiada (Russie)	43,2	Cadia Hill (Australie)	27,1
Carlin (États-Unis)	40,9	Grasberg (Indonésie)	26,8
Pueblo Viejo (République Dominicaine)	30,6	Kibali (R.D. du Congo)	25,3
Cortez (États-Unis)	30,0	Loulo Goukoto (Mali)	22,2

Sources : Mines and Metals et rapports des sociétés

Productions minières

En 2019. Monde : 3 463,7 t, Union européenne (Suède, Finlande, Bulgarie...), en 2018 : 30,4 t.

en tonnes d'or contenu			
Chine	383,2	Pérou	143,3
Russie	329,5	Ghana	142,4
Australie	325,1	Afrique du Sud	118,2
États-Unis	200,2	Mexique	111,4
Canada	182,9	Brésil	106,9

Source : Refinitiv, GFMS Gold Survey

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 200 000 t, dont :

en tonnes			
avant la fin de l'empire romain	10 000 t	au XIX ^{ème} siècle	12 000 t
au Moyen Age	2 500 t	de 1900 à 1996	110 500 t
au XVII – XVIII ^{ème} siècle	4 000 t	de 1997 à 2018	60 500 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 dans 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 ont employé, 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 Stillwater](#), 11,3 % par [DRD Gold](#), 10 % par [Harmony](#) et 2,76 % par [Gold Fields](#), 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. Depuis 1920, elle a raffiné 50 000 t d'or soit environ le tiers de la production mondiale.

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 Stillwater](#), société issue, en février 2013, de Gold Fields, a produit, en 2019, 29,0 t d'or en exploitant en Afrique du Sud, les mines de Driefontein, avec une production de 5,155 t, Kloof, avec 10,863 t, Beatrix, avec 6,118 t et Cooke, avec 1,291 t. Possède par ailleurs une participation de 38,05 % portée à 50,1 % en 2020 dans DRDGold avec une part de 5,582 t d'or. Co-produit de l'[uranium](#) avec 55,3 t d'oxyde d'uranium U₃O₈, en 2015. Les réserves prouvées et probables sont de 269 millions de t de minerai renfermant 1,3 g/t d'or.
- La société [AngloGold Ashanti](#) a produit, en Afrique du Sud, en 2019, 13,1 t. Les opérations minières ont lieu dans la région de West Wits avec la mine de Mponeng et 7,6 t. Par ailleurs, l'exploitation en surface de terrils a donné 5,5 t. La mine de Kopanang, a également produit de l'oxyde d'uranium : 363 t d'oxyde U₃O₈ en 2017. La vente de ces dernières activités en Afrique du Sud a été annoncée pour 2020. Voir plus loin pour les productions hors Afrique du Sud.
- La société [Harmony](#), a produit, en 2019, en Afrique du Sud, 33,0 t, dans les mines de Doornkop, avec 2,994 t, Kusasaletu, avec 3,015 t, Bambanani, avec 2,132 t, Joel, avec 1,391 t, Masimong, avec 1,999 t, Target, avec 2,244 t, Tshepong, avec 7,293, Moab Khotson, avec 6,592 t, Unisel, avec 0,982 t et les opérations de surface avec 4,349 t dont Kalgold, avec 1,153 t. Les réserves prouvées et probables, en Afrique du Sud, sont 56,9 millions de t renfermant 5,87 g/t de Au pour les exploitations souterraines et 801 millions de t de minerai renfermant 0,26 g/t d'or pour les exploitations de surface. Produit également de l'or en Papouasie Nouvelle Guinée, à Hidden Valley, avec 4,872 t en 2019, et des réserves prouvées et probables en Papouasie Nouvelle Guinée de 217 millions de t de minerai renfermant 0,91 g/t d'or.
- La société [Gold Fields](#) a produit, en Afrique du Sud, avec la mine souterraine de South Deep, 6,905 t, en 2019. Les réserves prouvées et probables sont de 183 millions de t à 5,57 g/t. Voir plus loin pour les productions hors Afrique du Sud.
- [DRD Gold](#), traite des terrils accumulés au cours des exploitations antérieures et a produit, en 2019, 4,977 t d'or et possède des réserves prouvées et probables de 557 millions de t renfermant 0,32 g/t d'or.

Production minière des États-Unis : 27 mines donnent 99 % de la production. Celle-ci provient à 72 % du Nevada et 12 % d'Alaska.

En juillet 2019, les mines exploitées au Nevada par [Barrick](#) et celles exploitées par [Newmont](#) ont été regroupées dans une joint venture, Nevada Gold Mines (NGM), détenue à 61,5 % par Barrick et 38,5 % par Newmont. En 2019, la production a été de 86 t d'or avec des réserves prouvées et probables de 240,9 millions de t renfermant 2,39 g/t d'or. Les mines regroupées sont celles de Cortez-Goldstrike, Carlin, Turquoise Ridge, Phoenix et Long Canyon. Le complexe minier de Carlin regroupe diverses mines à ciel ouvert et souterraines dont celle de Goldstrike avec une production, en 2019, de 40,435 t et des réserves prouvées et probables de 120 millions de t renfermant 3,32 g/t d'or. Le complexe minier de Cortez a donné, en 2019, 29,953 t d'or avec des réserves prouvées et probables de 69 millions de t renfermant 2,77 g/t d'or.

- [Barrick](#) exploitait par ailleurs, dans le Montana, la mine de Golden Sunlight dont la production a été suspendue en 2019.

- [Newmont](#), exploite par ailleurs, dans le Colorado, la mine de Cripple Creek & Victor (CC&V) avec, en 2019, une production de 10,0 t d'or avec des réserves prouvées et probables de 165,5 millions de t renfermant 0,53 g/t de Au.

Aux États-Unis, en 2019, 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 2020, 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 pour l'[arsenic](#) 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 t, 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 %, [chalcopyrite](#) : 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 comme [Auplata](#) qui a produit, en 2018, 21 kg d'or, ou la [Compagnie Minière Espérance](#). La production déclarée est passée de 544 kg en 1989 à 2 693 kg en 2006 et 2 700 kg, en 2018. Les quantités extraites illégalement sont estimées à 10 à 12 t/an. Des groupes miniers internationaux commencent à s'intéresser à l'exploitation de gisements filoniens. Par exemple, la [Compagnie Minière de la Montagne d'Or](#), détenue à 55,01 % par le groupe russe [Nordgold](#) et 44,99 % par le groupe canadien [Orea](#) a eu le projet d'exploiter, à ciel ouvert, un gisement primaire de 54 millions de t de minerai renfermant 1,58 g/t d'or avec un début de production prévu en 2022 et une production annuelle de 6,7 t pendant minimum 12 ans. En juin 2019, le gouvernement a annoncé l'abandon du projet.

Principaux producteurs : en 2019.

	en tonnes d'or contenu		
Newmont (États-Unis)	195,7	Newcrest Mining (Australie)	68,4
Barrick Gold (Canada)	170,0	Gold Fields (Afrique du Sud)	68,3
AngloGold Ashanti (Afrique du Sud)	102,6	Navoi Mining (Ouzbékistan)	62,2

Polyus (Russie)	88,4	Agnico Eagle (Canada)	55,4
Kinross (Canada)	78,0	Polymetal International (Russie)	40,9

Sources : rapports des sociétés

En juillet 2019, Newmont et Barrick ont regroupé leurs mines du Nevada, aux États-Unis, dans une joint venture détenue à 61,5 % par Barrick et 38,5 % par Newmont.

- [Newmont Mining Corporation](#) qui a acquis, en avril 2019, GoldCorp, exploite, en 2019 :
 - aux États-Unis, voir ci-dessus.
 - au Pérou, Newmont détient 51,35 % de la mine de Yanacocha, avec 8,4 t et des réserves de 125,5 millions de t à 0,87 g/t d'or.
 - au Surinam, Newmont exploite la mine de Merian détenue à 75 % avec 12,2 t d'or et des réserves de 97 millions de t à 1,12 g/t d'or.
 - en Australie, Newmont exploite des mines en Australie Occidentale, à Boddington, avec 21,86 t d'or avec des réserves de 624,1 millions de t à 0,59 g/t d'or, Kalgoorlie, à 50 %, avec 7,1 t avec des réserves de 98,3 millions de t à 1,0 g/t d'or et dans les Territoires du Nord, à Tanami, avec 15,6 t avec des réserves de 36,7 millions de t à 4,82 g/t d'or.
 - au Ghana, la mine d'Ahafo a produit 20,0 t d'or avec des réserves de 171 millions de t à 1,75 g/t d'or et celle d'Akyem, 13,1 t avec des réserves de 60,8 millions de t à 1,31 g/t d'or.
 - au Canada, dans l'Ontario, avec les mines de Red Lake, avec une production de 3,5 t avec des réserves de 5,1 millions de t à 7,87 g/t d'or, Porcupine avec 6,9 t avec des réserves de 54,3 millions de t à 1,62 g/t d'or, Musselwhite, avec 0,093 t avec des réserves de 10,9 millions de t à 0,91 g/t d'or et au Québec, Eléonore, avec 7,65 t avec des réserves de 8,3 millions de t à 4,82 g/t d'or.
 - au Mexique, dans l'État de Zacatecas, avec la mine d'or, argent, plomb et zinc de Peñasquito, avec 4,0 t d'or, avec des réserves de 48,68 millions de t à 0,53 g/t d'or.
 - en République Dominicaine, avec la mine d'or et d'argent de Pueblo Viejo, à 40 %, avec 8,9 t d'or avec des réserves de 52,5 millions de t à 2,27 g/t d'or.
 - en Argentine, avec la mine d'or et d'argent de Cerro Negro, avec 10,4 t d'or avec des réserves de 9,3 millions de t à 8,8 g/t d'or.

Les réserves totales, prouvées et probables sont, en 2019, de 3 283 millions de t de minerai renfermant 0,96 g/t d'or.

Pour Newmont, les coproductions sont, en 2019, de 493 t d'argent, 35 826 t de cuivre, 48 889 t de plomb, 84 823 t de zinc.

- [Barrick](#) qui a acquis, début 2019, la société britannique Randgold exploite, en 2019 :
 - aux États-Unis, voir ci-dessus,
 - au Canada, dans l'Ontario, Hemlo Property, avec 6,6 t et des réserves de 11 millions de t à 3,90 g/t d'or,
 - en République Dominicaine, Pueblo Viejo, détenue à 60 %, avec 18,3 t et des réserves de 71 millions de t à 2,49 g/t d'or,
 - en Argentine, Veladero, détenue à parts égales avec le groupe chinois [Shandong Gold](#), avec 8,5 t et des réserves de 120 millions de t à 0,73 g/t d'or,
 - en Australie, Kalgoorlie, à 50 %, avec 6,4 t, en novembre 2019 la participation de Barrick a été vendue,

- en Papouasie Nouvelle Guinée, Porgera détenue à 47,5 %, avec 8,8 t et des réserves de 15 millions de t à 4,81 g/t,
- en Tanzanie, avec 84 % des mines de Bulyanhulu, North Mara et Buzwagi, avec un total de 12,7 t. Les réserves de Bulyanhulu sont de 7,5 millions de t à 9,34 g/t, celles de North Mara de 21 millions de t à 2,57 g/t, celles de Buzwagi de 5,1 millions de t à 0,84 g/t.
- Ainsi que les mines issues de Randgold :
 - au Mali, Loulo Goukoto détenue à 80 % avec 17,8 t avec des réserves de 45 millions de t à 4,41 g/t,
 - en Côte d'Ivoire, Tongon détenue à 89,7 % avec 7,6 t avec des réserves de 8,9 millions de t à 2,14 g/t,
 - en République Démocratique du Congo, Kibali détenue à 45 % avec 11,4 t avec des réserves de 31 millions de t à 4,20 g/t,

Par ailleurs, Barrick produit du cuivre, au Chili, à Zaldivar, détenu à 50 %, avec, en 2019, 58 061 t, en Zambie, à Lumwana, avec 107 957 t, en Arabie Saoudite, à Jabal Sayid, détenu à 50 %, avec 29 938 t.

Les réserves totales, prouvées et probables, sont, fin 2019, de 1 300 millions de t de minerai renfermant 1,68 g/t d'or.

- [AngloGold Ashanti](#) exploite, en 2019 :
 - en Afrique du Sud, voir ci-dessus,
 - au Ghana, la mine d'Iduapriem, avec une production de 8,6 t,
 - en Guinée, 85 % de la mine de Siguiri, avec 6,6 t,
 - au Mali, 40 % de la mine de Morila, avec 0,8 t, 41 % de celle de Sadiola, avec 1,6 t,
 - en Tanzanie, la mine de Geita, avec 18,8 t,
 - en République Démocratique du Congo, 45 % de la mine de Kibali, avec 11,4 t,
 - en Australie, la mine de Sunrise Dam, avec 7,9 t et 70 % de celle de Tropicana, avec 11,2 t,
 - au Brésil, la mine de Serra Grande, avec 3,8 t et celle d'AGA Mineraçao, avec 11,3 t,
 - en Argentine, 92,5 % de la mine de Cerro Vanguarda, avec 7,0 t.

Outre la coproduction d'uranium en Afrique du Sud, la production d'or a coproduit, en 2018, de l'[acide sulfurique](#) au Brésil et de l'[argent](#) en Argentine et en Colombie (193 t).

Les réserves totales prouvées et probables sont, fin 2019, de 1 026 millions de t de minerai renfermant 1,33 g/ d'or.

- [Polyus](#) exploite, en 2019, en Russie, en Sibérie, dans la région de Krasnoyarsk, les mines d'Olimpiada, avec une production de 43,2 t, de Blagodatnoye, avec 13,1 t, dans la région d'Irkutsk, la mine de Verninskoye, avec 8,0 t, des alluvions dans cette même région, avec 4,5 t, la mine de Kuranakh, dans le Nord-Est de la Sibérie, avec 7,0 t et depuis 2018, Nataka dans le Nord-Est de la Sibérie dans la région de Magadan avec 12,6 t.
Les réserves prouvées et probables sont de 1 077 millions de t renfermant 1,8 g/t.
- [Kinross](#) (les données publiées sont données, en général, en équivalent or, en comptant 85,99 parts d'argent pour une part d'or) exploite, en 2019 :

- aux États-Unis, en Alaska, la mine de Fort Knox, avec une production de 6,2 t d'équivalent or et dans le Nevada les mines de Round Mountain, avec 11,2 t d'équivalent or et de Bald Mountain, avec 5,8 t d'équivalent or,
- au Brésil, la mine de Paracatu, avec 19,3 t d'équivalent or,
- au Chili, la mine de Maricunga, avec 1,2 t d'équivalent or,
- en Mauritanie, la mine de Tasiat, avec 12,2 t d'équivalent or,
- au Ghana, 90 % de la mine de Chirano, avec 6,3 t d'équivalent or,
- en Russie, les mines de Kupol et Dvoinoye, avec 16,4 t d'or et 102,5 t d'argent.

Les réserves prouvées et probables sont de 1 144 millions de t de minerai renfermant 0,7 g/t d'or et 29,8 millions de t renfermant 58,1 g/t d'argent.

- [Newcrest Mining](#) exploite, en 2019-20 :
 - en Australie, la mine de Cadia Valley, en Nouvelle Galle du Sud, avec une production de 26,2 t d'or et 96 000 t de cuivre et la mine de Telfer, dans la région de Pilbara, en Australie Occidentale, avec 12,2 t d'or et 16 000 t de cuivre,
 - en Papouasie Nouvelle Guinée, la mine de Lihir, dans l'île de Niolam, avec 24,1 t,
 - au Canada, 70 % de la mine de Red Chris acquise en août 2019 avec 1,2 t.

Par ailleurs, l'exploitation de l'or donne une coproduction de 137 000 t de cuivre.

Les réserves prouvées et probables sont, fin 2019, de 1 617 t d'or, 1 120 t d'argent, 6,9 millions de t de cuivre et 120 000 t de molybdène.

- [Gold Fields](#) exploite, en 2019 :
 - en Afrique du Sud, la mine de South Deep, voir plus haut,
 - en Australie, les mines de St Ives, avec une production de 11,539 t d'or, Agnew, avec 6,812 t, Granny Smith, avec 8,553 t et Gruyère détenue à 50 % avec 1,555 t,
 - au Ghana, les mines de Tarkwa, avec 16,142 t, Damang, avec 6,470 t et Asanko, acquise à 45 % en août 2018, avec 3,515 t,
 - au Pérou, la mine de Cerro Corona, avec 9,113 t d'or et 31 000 t de cuivre.

Les réserves prouvées et probables d'or sont de 609,5 millions de t de minerai renfermant 2,72 g/t, et celles de cuivre, à Cerro Corona, sont de 73,5 millions de t de minerai renfermant 0,38 % de cuivre.

- [Navoi Mining](#) exploite, en Ouzbékistan, dans le désert de Kyzyl Kum, la mine à ciel ouvert de Muruntau qui est l'une des plus importante mine d'or dans le monde, avec, en 2018, une production de 62,5 t. Par ailleurs, la société détient le monopole de la production d'uranium, avec 3 600 t en 2017. En 2019, la société est en cours de privatisation.
- [Agnico Eagle](#), groupe canadien, exploite, en 2019, des mines :
 - au Canada, province du Québec, à LaRonde, avec 12,5 t d'or, 27,8 t d'argent, 3 397 t de cuivre, 13 161 t de zinc, Goltex, avec 4,4 t d'or, Malartic, avec 10,4 t d'or et 13,1 t d'argent, dans le Nord-Canada à Meadowbank, avec 6,0 t d'or et 2,7 t d'argent et Meliadine avec 7,4 t d'or,
 - au Mexique, dans l'État de Chihuahua, à Pinos Altos avec 4,8 t d'or et 67,2 t d'argent et Creston Mascota avec 1,5 t d'or et 18 t d'argent et dans l'État de Sonora, à La India, avec 2,6 t d'or et 4,1 t d'argent,
 - en Finlande à Kittila avec 5,9 t d'or.

Les réserves prouvées et probables sont de 237 millions de t de minerai renfermant 2,83 g/t d'or, 50,6 millions de t de minerai renfermant 22,46 g/t d'argent, 28,3 millions de t de minerai renfermant 0,30 % de cuivre, 14,9 millions de t de minerai renfermant 0,80 % de zinc.

Réserves minières : en 2019. Monde : 50 000 t.

				en t d'or contenu	
Australie	10 000	Brésil		2 400	
Russie	5 300	Pérou		2 100	
Afrique du Sud	3 200	Chine		2 000	
États-Unis	3 000	Canada		1 900	
Indonésie	2 600	Ouzbékistan		1 800	

Source : USGS

Traitement des minerais

Les procédés utilisés 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 ont une dimension supérieure à 75 micromètres. 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.

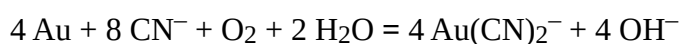
La flottation, après broyage, est systématiquement utilisée lorsque l'or est associé à des sulfures métalliques. Elle précède le traitement ultérieur de cyanuration.

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 de [dioxygène](#), 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 souvent illégales.

L'extraction hydrométallurgique par cyanuration : inventée en 1888, c'est le procédé le plus utilisé (environ 80 % de la production mondiale). Elle consomme environ 6 % des 1,1 million de t de cyanure de sodium produites annuellement dans le monde.

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. La solution contenant le complexe aurocyanure est traitée selon deux procédés :

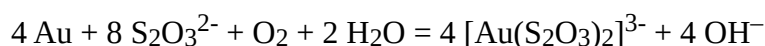
- Principalement à l'aide de [charbon actif](#) : 1 t de charbon statique peut adsorber 70 kg d'or. La solution d'ions aurocyanures et la pulpe ne sont pas séparés et passent dans des cuves contenant le charbon actif. Le temps de contact charbon-pulpe est de l'ordre de 1 h, le temps de séjour du charbon 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.
- Mais aussi par cémentation (procédé Merrill-Crowe) à l'aide de [zinc](#). L'or et l'argent se déposent sur les particules de Zn, qui attaquées par [H₂SO₄](#) libèrent l'or et l'argent. Le métal obtenu (doré) contient jusqu'à 5 % d'impuretés métalliques. Les minerais riches en argent sont traités, de préférence, par ce procédé.

La biolixiviation, par exemple avec thiobacillus ferro-oxidans, 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 ou à grande échelle, en Afrique du Sud).

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 États-Unis, dans le Nevada, exploitée par Barrick. Le traitement est réalisé à l'aide de thiosulfate de calcium. La récupération de l'or est effectuée 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

Il est estimé mondialement à 1 304,1 t, en 2019, soit 33 % 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. En 2019, un ordinateur mis au rebus contient en moyenne 100 g d'or à la tonne. Le contenu en or, platine et argent, en fin de vie d'un téléphone mobile, constituait, en 2010, 93 % de sa valeur.

Production d'or recyclé : en 2018. Monde : 1 178,0 t, Union européenne : 218,9 t.

en tonnes

Chine	222,1	Japon	48,2
Inde	103,1	Égypte	45,9
Turquie	77,4	Royaume Uni	40,7
Italie	67,5	Russie	37,6
États-Unis	56,4	Corée du Sud	32,9

Source : Refinitiv, GFMS Gold Survey

Parmi les sociétés intervenant dans cette activité :

- [Umicore](#), à Hoboken, en Belgique.
- [Aurubis](#), en Allemagne, à Lünen et Hambourg, avec, en 2018/19, le traitement de 96 000 t de déchets d'équipements électriques et électroniques et une production de 51 t d'or et 861 t d'argent.
- [Boliden](#), en Suède, à Rönnskär, avec une capacité de traitement de 120 000 t/an de déchets et en Finlande à Harjavalta. En 2018, la production est de 16,7 t d'or provenant aux 2/3 du recyclage et 544,8 t d'argent provenant pour 1/4 du recyclage.

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 ainsi que celles des fonds de placement. En 2018, les exploitations minières ont fourni 74 % de l'approvisionnement en or, le recyclage 26 %, les ventes des fonds de placement ont été équilibrées par des achats.

Situation française

En 2018.

Production minière : 2,7 t en Guyane.

Recyclage : 22,4 t.

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

Utilisations

Consommations

Pour fabriquer des bijoux, monnaies et emplois industriels, en 2018, incluant de l'or recyclé. Monde : 2 816,5 t, Union européenne : 191,0.

en tonnes

Chine	785,2	Italie	83,6
Inde	700,5	Corée du Sud	80,9
États Unis	156,0	Afrique du Sud	70,7
Japon	99,9	Iran	62,8
Turquie	98,4	Indonésie	49,1

Sources : Refinitiv, GFMS Gold Survey

Sur la quantité totale d'or produite dans le monde, estimée à 190 000 t depuis la préhistoire, environ 186 200 t subsistent fin 2015. Les personnes privées en détiendraient 20,5 % sous forme de pièces et lingots, principalement en France (2 500 à 5 000 t), Inde, États-Unis, les banques centrales en détiendraient 16,6 %. 47,3 % de la production serait sous forme de bijoux et 15,7 % dans des applications industrielles.

Secteurs d'utilisation

En 2019, dans le monde, sur un total de 3 910 t :

Bijouterie	44,2 %	Électronique	7,0 %
Investissements, lingots et monnaies	25,6 %	Prothèses dentaires et médecine	0,7 %
Banques centrales	15,9 %	Industries diverses	1,8 %

Sources : Refinitiv, GFMS Gold Survey

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

Utilisations diverses

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 supérieure à 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.

Consommation de bijoux en or, incluant de l'or recyclé : en 2019. Monde : 1 727 t.

en tonnes

Chine	508,8	Corée du Sud	35,7
Inde	479,9	Hong Kong	35,1
États-Unis	122,0	Arabie Saoudite	34,0
Indonésie	38,3	Iran	32,8
Émirats Arabes Unis	37,3	Russie	31,4

Sources : Refinitiv, GFMS Gold Survey

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 et du Fond Monétaire International : fin 2018, sur un total de 34 327 t.

en tonnes

États Unis	8 134	Chine	1 853
Allemagne	3 370	Suisse	1 040
Italie	2 452	Japon	765
France	2 436	Pays Bas	612
Russie	2 113	Inde	600

Sources : Refinitiv, GFMS Gold Survey

Les réserves du FMI sont, fin 2018, de 2 814 t.

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 États-Unis, des dollars émis est passée 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.