

# PLATINE PALLADIUM



# SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
AVANT-PROPOS	5
LE PLATINE ET LE PALLADIUM :	
DU MOTEUR À EXPLOSION À LA PILE À COMBUSTIBLE	6
<b>1/ LE PLATINE</b>	
Histoire et propriétés	8
Les usages du platine	9
Quelques anecdotes autour du platine	11
<b>2/ LE PALLADIUM</b>	
Histoire et propriétés	12
Les usages du palladium	13
Quelques anecdotes autour du palladium	15
CONCLUSION	16

# INTRODUCTION

## DES MÉTAUX PRÉCIEUX POUR ACCOMPAGNER LA TRANSITION

L'usage industriel de certains métaux précieux comme l'argent et dans une moindre mesure l'or est important : cela joue sur leur valeur. Leur cours peut ainsi être influencé par les résultats d'une ou plusieurs industries.

Le platine et le palladium sont des matières premières, des métaux donc, utilisés par l'industrie comme de nombreux autres : le fer, l'acier en passant par le cuivre ou bien encore l'aluminium.

Mais les platinoïdes ont un truc en plus. Ils sont utilisés pour réduire les rejets de particules fines des voitures à moteurs thermiques dans les pots catalytiques. Et dans un proche avenir, ils seront indispensables à la production d'hydrogène vert, c'est-à-dire sans rejet de CO<sub>2</sub>, présents dans les piles à combustibles.

Le dérèglement climatique s'accélère, la pression des citoyens se fait de plus en plus forte sur les Etats et les entreprises pour prendre des mesures orientées vers la préservation de la planète, le platine et le palladium se retrouvent donc au cœur de la transition énergétique.

Dans ce livre blanc, vous en saurez plus sur ces métaux précieux de transition : leurs origines, leurs qualités respectives mais aussi leurs différents usages qui participent à la réalisation des objectifs de réduction de consommation de CO<sub>2</sub>. Plus largement, ils sont au service de la qualité de l'air que nous respirons.

Si la planète Terre s'en sort, le platine et le palladium y seront vraiment pour quelque chose !

# AVANT-PROPOS

## Le groupe des métaux platinoïdes

Les métaux platinoïdes sont au nombre de 6 dans le tableau périodique des éléments : ruthénium (Ru), rhodium (Rh), palladium (Pd), osmium (Os), iridium (Ir) et platine (Pt). Ils sont 7 en ajoutant le Rhénium (Re), selon les définitions du groupe platine. Comme l'or et l'argent, les platinoïdes sont des métaux dits de transition avec des propriétés communes (conducteur d'électricité, par exemple). Ils partagent aussi la qualification de « métaux précieux ». Si les platinoïdes sont particulièrement remarquables pour leurs propriétés de catalyseurs, le platine et le palladium sont les plus utilisés et présentent le plus d'intérêt pour l'économie et l'industrie, notamment automobile.

les masses atomiques entre parenthèses correspondent à l'isotope le plus stable

## Quelques mots pour comprendre le lien entre platine, palladium et pots catalytiques

Le pot catalytique d'un véhicule est une pièce du système d'échappement destinée à réduire la toxicité des gaz rejetés dans l'air. Il est constitué d'une chambre en acier et d'une structure en céramique, dont les conduits sont tapissés d'une fine couche de métaux précieux : quelques grammes de platine et/ou de palladium. Les quantités et les proportions sont variables selon les constructeurs, les moteurs et leur combustible (essence ou diesel). Ce sont précisément ces métaux précieux qui agissent comme catalyseurs : en chimie, la catalyse est un processus permettant à une substance d'accélérer une réaction sans être altérée. Ici, elle déclenche la réaction qui transforme le monoxyde de carbone et autres éléments toxiques en substances moins nocives.

# LE PLATINE ET LE PALLADIUM

## DU MOTEUR À EXPLOSION À LA PILE À COMBUSTIBLE

On trouve ces métaux précieux dans les pots catalytiques des voitures diesel et à essence : ils permettent de réduire les émissions des microparticules. En revanche, cela ne réduit absolument pas le CO<sub>2</sub> dans les gaz d'échappement. Donc, avec la fin des voitures thermiques (moteurs à explosion), c'est la fin de l'usage des platinoïdes dans l'industrie automobile ? Au contraire, puisque ces métaux précieux sont présents dans les piles à combustibles alimentée avec de l'hydrogène vert.



### L'HYDROGÈNE, LA SOLUTION ULTIME POUR LES VOITURES ÉLECTRIQUES

Avec le développement de la mobilité électrique, le stockage d'électricité est au cœur de l'évolution de l'industrie automobile. Pour l'instant les véhicules électriques disposent de batteries au lithium notamment. Cette méthode a ses limites : problèmes de poids, d'autonomie (600 km en moyenne) et donc de temps de recharge. La solution serait l'utilisation de piles à combustibles alimentées par de l'hydrogène. En quelques minutes, le plein d'énergie est fait. Pour l'instant,

pour des raisons de complexité de stockage de l'hydrogène, cette technologie est plutôt orientée vers des modes de transports lourds comme les trains, les bus ou les poids lourds. Mais rapidement, on peut estimer que la pile à combustible équipera la voiture de Monsieur Tout le Monde.

### L'HYDROGÈNE UNE SOLUTION PROPRE ?

Pour l'instant, pas vraiment. En effet, le principe de production de l'hydrogène est assez simple. Souvenons-nous de nos cours de chimie au collège : on trouve l'hydrogène dans l'eau (H<sub>2</sub>O). Pour le récupérer, il faut passer par l'électrolyse. On va casser la molécule d'eau pour séparer ses composants. Pour l'eau, il s'agit de séparer l'hydrogène et l'oxygène donc. C'est ce qu'on appelle l'hydrogène vert.

### Aujourd'hui, on produit de l'hydrogène sale (gris, bleu).

Pour produire de l'hydrogène, on utilise aujourd'hui le procédé de vaporeformage du méthane. On transforme en vapeur du méthane (CH<sub>4</sub>) au contact d'eau très chaude. Les 4 molécules d'hydrogènes sont libérées mais au passage on a généré beaucoup de CO<sub>2</sub>. 10 tonnes de CO<sub>2</sub> pour 1 tonne d'hydrogène, ce n'est pas très vertueux comme énergie. La solution intermédiaire, c'est d'arriver à récupérer le CO<sub>2</sub> et de le stocker (hydrogène bleu).

### Un fort besoin en énergie non carbonée pour produire l'hydrogène vert

L'électrolyse demande beaucoup d'électricité. Pour ne pas retomber dans les travers du vaporeformage, il faut donc trouver une électricité qui ne génère pas de CO<sub>2</sub> : les énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique) mais aussi le nucléaire.

## LES GOUVERNEMENTS PARIENT SUR L'HYDROGÈNE VERT

En 2021, le gouvernement français semble avoir été convaincu de l'avenir de l'hydrogène vert. Tout d'abord, il décide d'investir **1,6 milliards d'euros pour soutenir la recherche et le développement** d'une filière spécifique immédiatement avant de prévoir 7 milliards d'euros sur l'hydrogène vert jusqu'en 2030.

Les observateurs ont aussi noté le retour en force de la solution nucléaire. Quand le Président de la République lance le programme de petits réacteurs nucléaires (les Small Modular Reactor, ou SMR), il a en tête la production d'hydrogène vert puisqu'il annonce juste après le financement de la filière.

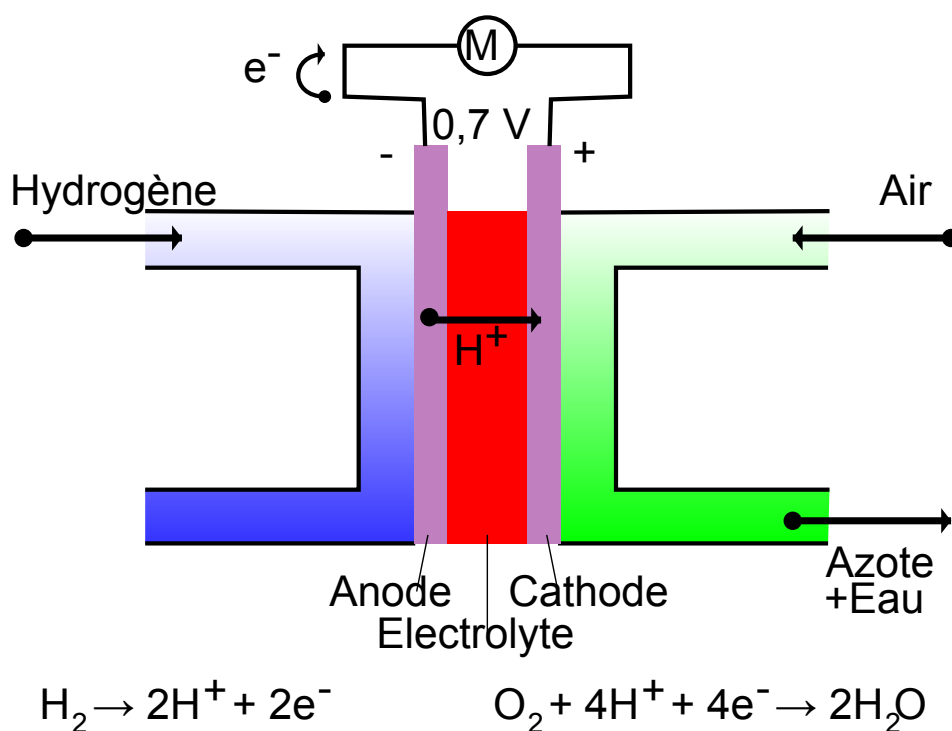
## LE PALLADIUM ET LE PLATINE DANS LES PILES À COMBUSTIBLES

La pile à combustible fonctionne à l'inverse de l'électrolyse, par l'oxydoréduction. C'est-à-dire que l'hydrogène est de nouveau associé à l'oxygène pour produire de l'eau mais avant cela, il y a une production d'électricité. Et c'est là que le **platine** mais aussi le **palladium** jouent un rôle central.

En effet, pour provoquer cette union on accélère le mouvement des ions et des électrons générateurs d'électricité par une catalyse. Les meilleurs catalyseurs connus sont les platinoïdes.

### Un gros besoin en platine et palladium

Pour un pot catalytique, selon la puissance de la voiture, il faut entre **3 et 7 grammes de platinoïdes**. Pour une pile à combustible de 100 KWh (puissance d'une grosse voiture électrique), **30 grammes de platine ou de palladium** sont nécessaires. Si la voiture à pile à combustible devient un standard de motorisation, on peut donc s'attendre à un besoin 5 fois supérieur en métaux précieux pour l'industrie automobile.



# 1 LE PLATINE

## HISTOIRE ET PROPRIÉTÉS

### A/ Un métal découvert par les conquistadors espagnols

Le platine doit son nom aux conquistadors espagnols, qui l'ont découvert au 16<sup>e</sup> siècle en Amérique du Sud, et notamment dans **les eaux du Rio Tinto en Colombie**. Le « platina », c'est à dire le « petit argent » en opposition au minerai argent (« plata »), est laissé de côté dans un premier temps. Les **pépites de platine** présentent pourtant une apparence intéressante, avec leur **aspect lisse et leur éclat argenté**. Mais la difficulté à faire fondre le métal et à le travailler rebute les Espagnols.

Il faut attendre 1735 pour que l'explorateur espagnol Antonio de Ulloa s'y intéresse et le rapporte en Europe. En 1803, le physicien William Hyde Wollaston se penche sur ses propriétés chimiques.



### Comment se forme le platine ?

Le **platine** existe **sous une forme brute**. On le retrouve dans certains éléments dans l'écorce terrestre ainsi que dans certaines zones d'alluvions. Il est présent dans le polyxène par exemple : le platine est alors mêlé **au fer, à l'iridium, au rhodium, palladium ou encore au nickel et au cuivre**. Il se trouve aussi dans le minerai de sperrylite ou dans le coopérite minéral.

Comme l'argent, le cuivre, le fer ou le rhodium, le palladium ou l'iridium, le platine fait partie des **métaux de transition**. Ces métaux présentent généralement une forte densité, ainsi qu'une température de fusion et de vaporisation élevées.

### C/ Quelles sont les propriétés du platine ?

Il s'agit d'un métal chimiquement très stable, mais qui a aussi la particularité d'être malléable et ductile, c'est-à-dire qu'il peut être étiré et déformé sans se rompre.

- Il est **inaltérable**, avec une température de fusion très élevée : le platine fond à 1 769° C. En comparaison, la température de fusion de l'or est de 1 064° C, et celle de l'argent 961,8° C.
- Il présente une **densité élevée** : 21,45 g/cm<sup>3</sup>. Cela le classe parmi les matériaux les plus denses. La densité de l'or est de 19,32 g/cm<sup>3</sup>, et celle de l'argent 10,5 g/cm<sup>3</sup>.
- Il résiste à **l'oxydation et à la corrosion**.

### D/ Sous quelle forme existe le platine, et où ?

Il existe peu de **gisements de platine**. L'Afrique du Sud - avec notamment le gisement de Bushveld - est le premier producteur mondial. La Russie, le Zimbabwe et le Canada possèdent aussi des filons importants. D'autres pays produisent du platine dans des quantités moindres : les États-Unis (Stillwater), la Colombie, les Philippines, l'Éthiopie...

## W BON À SAVOIR :

Le platine, le palladium, le rhodium, l'iridium, le ruthénium et l'osmium font aussi partie de la même famille des platinoïdes

(platinum groupe metals ou PGM).

Le platine présente un aspect blanc-gris, dans une couleur proche de celle de l'étain. Il se trouve sous plusieurs formes : des **particules**, **des pépites**, **des paillettes**, **des grains roulés** ou encore **des grappes**. Les pépites de **métal pur** sont rares.

Le platine est plus souvent mélangé à d'autres métaux, ce qui explique qu'il est aussi parfois extrait dans des mines de cuivre et de nickel.

## LES USAGES DU PLATINE

Les propriétés du platine en font un métal recherché dans plusieurs domaines : l'industrie automobile, la joaillerie ou certaines industries. Le secteur médical s'intéresse aussi aux propriétés du platine pour la chimiothérapie. Il est également utilisé pour des pièces d'investissement.

### A/ L'industrie automobile pour ses pots catalytiques

#### 1- Catalyse, résistance à la corrosion : des propriétés remarquées

Si vous vous êtes glissé au volant d'une voiture essence ou diesel récemment, il y a de grandes chances que vous vous soyez assis sur une petite mine de métaux rares ! Le platine entre dans la composition de la fine couche de l'intérieur du pot catalytique. Cet élément intercalé entre le pot d'échappement et le moteur filtre les gaz d'échappement. Le métal présente d'excellentes

### BON À SAVOIR :

Selon le World Platinum Investment Council, 4 906 000 onces de platine ont été extraites au cours de l'année 2020. L'Afrique du Sud est le producteur le plus important, avec 3 298 000 onces extraites. Le deuxième pays producteur le plus important est la Russie, avec 704 000 onces extraites en 2020.

propriétés de catalyse, et sa résistance à la corrosion comme aux hautes températures en fait un matériau de choix pour les constructeurs. Mais il tend désormais à être remplacé par le palladium, dont le pouvoir de catalyse est bien supérieur à celui du platine. C'est ce qui explique que le palladium soit utilisé pour les véhicules à essence, même lorsque son cours est élevé. Le platine est aussi utilisé pour les moteurs diesel, mais les mesures environnementales sont de plus en plus contraignantes.

#### 2- La demande de l'industrie auto dans le monde est dans une tendance baissière

Les chiffres relevés par le World Platinum Investment Council montrent une demande stable, voire en baisse depuis 2013, alors même que la production automobile est en constante hausse. En 2013, la demande était de 2 990 000 onces (soit 2 990 koz) de platine pour les pots catalytiques uniquement. Elle est descendue à 2 838 koz en 2019, puis 2 366 koz en 2020 pendant la crise sanitaire.



Comparaison et évolution de la demande des constructeurs automobile en platine, palladium et rhodium entre 2001 et 2021 pour les pots catalytiques - source Johnson Matthey



## B/ Utilisation industrielle : des piles à combustible au nez des avions

L'industrie automobile n'est pas la seule à s'intéresser aux propriétés du platine. Souvent associé à d'autres platinoïdes ou d'autres métaux, le platine trouve des usages dans plusieurs secteurs. Et parfois même avec des applications inattendues :

- c'est un composant des **missiles et des injecteurs de moteurs à réaction** : le platine présente un point de fusion élevé et il résiste donc à des températures très importantes ;
- pour la même raison, le platine est aussi utilisé dans certaines industries pour **des creusets ou des fourneaux à haute température** ;
- il entre dans la composition de certains **engrais, explosifs ou encore acide nitrique**.



### BON À SAVOIR :

Les propriétés de catalyse en font aussi un composant essentiel des piles à combustible, indispensables pour le développement de la filière hydrogène.

## C/ La joaillerie : une grande place pour le platine

Le « petit argent » des conquistadors espagnols s'est taillé une grande place sur le marché de la joaillerie. Les bijoux représentent près de **24 % de la demande mondiale en platine en 2020**, selon le World Platinum Investment Council. Sa couleur gris-blanc est particulièrement appréciée par les amateurs de bijoux ou de joaillerie. Mais au-delà de son aspect esthétique, le platine possède **certaines propriétés** (malléabilité, stabilité des alliages, densité) qui intéressent le marché de la joaillerie. Enfin, il est anallergique : un argument pour les joailliers qui souhaitent proposer une alternative à d'autres métaux.

## D/ De la chimiothérapie à la médecine dentaire

La stabilité chimique du platine et sa capacité à former des alliages avec d'autres métaux sont aussi recherchées dans le domaine de la médecine. Le platine entre dans la composition de certains traitements en **chimiothérapie** contre le cancer. Même avec les évolutions techniques les plus récentes, la **médecine dentaire** utilise encore le platine pour des prothèses.

## E/ L'investissement dans une tendance haussière, et notamment sous une forme physique

Enfin, le platine comme métal d'investissement n'est pas à négliger, au vu des chiffres annoncés par le World Platinum Investment Council. Entre 2013 et 2020, la demande en **platine d'investissement** a en effet **presque doublé dans le monde**, passant de 935 000 onces en 2013 à 1 554 000 onces en 2020. Le chiffre le plus remarquable est celui de la **demande en platine sous forme de pièces et lingots**. Inexistante en 2013, elle était de **586 000 onces en 2020**.

## F/ Numismatique : des pièces en platine

Même si le platine a d'abord été boudé par les conquistadors espagnols en Amérique du Sud, ses propriétés en font un métal très apprécié des ateliers monétaires ! Le platine existe aujourd'hui **sous forme de pièces d'investissement**. La Royal Mint du Canada, par exemple, propose ces pièces d'une once de platine, des pièces "bullion" qui ne sont pas sans rappeler les pièces d'une once d'or. Ce n'est pas la seule Monnaie à proposer ces pièces bullions. Pour les particuliers, le choix est de plus en plus large : **l'Autriche, l'Australie, la Russie, l'Afrique du Sud et même la Royal Mint britannique** frappent désormais leurs pièces de platine. Il est d'ailleurs intéressant de relever que parmi ces pays, figurent les producteurs majeurs du platine.



## QUELQUES ANECDOTES AUTOUR DU PLATINE

Disque de platine, noces de platine... Le métal précieux a aussi une place privilégiée dans certaines expressions du quotidien. Et il est d'ailleurs intéressant de relever que pour les mélomanes, un disque de platine (vendu à 100 000 exemplaires) a plus de valeur qu'un disque d'or (50 000 exemplaires). De la même manière, les noces de platine célèbrent 70 années d'union, quand les noces d'or sont célébrées par les couples mariés depuis 50 ans.

Ce ne sont pas les seules anecdotes autour du platine. Des fausses pièces aux bijoux en passant par l'étalon platine, voici les informations qui ont marqué l'histoire du métal précieux.

### A/ Comment le platine a été utilisé pour des pièces de contrefaçon

En Amérique latine au 16<sup>e</sup> siècle, les autorités espagnoles craignent que le platine, trop semblable à l'or, soit utilisé pour la contrefaçon. Elles ordonnent qu'il soit jeté à l'eau.

Deux siècles plus tard, le platine est bien utilisé pour la frappe de monnaie de contrefaçon. Entre 1859 et 1867, de faux Napoléon 20 Francs et 10 Francs sont fabriqués avec ce métal. À cette époque, et comme deux siècles plus tôt en Amérique latine, le platine n'a que peu de valeur. Moins que l'or. Mais en tenant compte de la valeur actuelle du platine, et de la rareté de ces pièces de contrefaçon, ces faux Napoléon en platine sont désormais très recherchés !

### B/ La Russie a frappé ses premières pièces en platine au début du 19<sup>e</sup> siècle

Au début du 19<sup>e</sup> siècle, du platine est découvert dans l'Oural. La Russie frappe déjà ses roubles en or et en argent, mais le tsar Nicolas 1<sup>er</sup> décide de faire frapper des pièces de 3, 6 et 12 roubles en platine, à son effigie. Ces pièces resteront en circulation pendant près de deux décennies. Le platine est alors peu connu, et peu valorisé : ces pièces sont moins bien acceptées par la population, qui préfère se fier à l'or.

### C/ En joaillerie, l'art nouveau et l'art déco révèlent le platine

C'est la joaillerie qui donne ses premières lettres de noblesse au platine. Le métal a peu les faveurs des bijoutiers jusqu'au milieu du 19<sup>e</sup> siècle. Mais il connaît un véritable engouement avec l'art nouveau à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, puis avec l'art déco. Il est associé aux diamants, et à d'autres métaux rares : iridium, palladium, osmium, rhodium... Son aspect blanc-gris éclatant et sa résistance à l'abrasion comme au ternissement en font, depuis, un métal recherché en joaillerie.

Les poinçons du platine, en joaillerie, diffèrent de ceux de l'or. Depuis 2002, un poinçon « manchot empereur » est utilisé pour le platine pur (999 millièmes). Le poinçon à tête de chien est utilisé depuis 1919 pour les platines 950, 900 et 850 millièmes.

### D/ Une barre de platine utilisée comme mètre-étalon en 1799, puis entre 1889 et 1960

#### Comment définir la longueur exacte d'un mètre ?

En 1790, l'Académie des Sciences définit cette longueur comme la « dix-millionième partie d'une moitié de méridien terrestre ». À partir de 1799, un **mètre en platine** est utilisé comme étalon de cette mesure. Et en 1889, le Bureau des poids et mesures fait fondre une nouvelle barre-étalon, cette fois avec **un alliage de platine et d'iridium**. Elle est utilisée jusqu'en 1960. Aujourd'hui, elle est toujours conservée au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

#### BON À SAVOIR :

Les pièces de 12 roubles frappées entre 1830 et 1845, à l'effigie de l'Empereur Nicolas 1<sup>er</sup>, pèsent 41,41 grammes pour un diamètre de 35,75 mm. Elles sont composées à 95 % de platine.

## 2

## LE PALLADIUM

HISTOIRE ET PROPRIÉTÉS  
DU PALLADIUMA/ Petite histoire de la découverte du  
palladium

Difficile de dater avec précision la découverte du palladium : entre 1802 et 1807, selon les sources d'informations. Pour mettre tout le monde d'accord, il faut retenir que ce métal a été **mis en évidence au tout début du 19<sup>e</sup> siècle**. C'est le médecin et chimiste anglais William Hyde Wollaston, déjà connu pour ses travaux autour du platine, qui découvre le palladium en analysant... du platine brut d'Amérique du Sud.

B/ Où trouver le palladium et sous quelle  
forme ?

Le palladium existe dans la croûte terrestre à l'état natif, le plus souvent associé au platine. En plus des **mines de platine** ou d'autres métaux platinoïdes, il se trouve aussi dans des **mines de nickel ou de cuivre**.

Les gisements de palladium les plus connus et les plus utilisés pour sa production se situent en Russie, en Afrique du Sud et au nord des États-Unis. En revanche, le mystère subsiste autour des réserves potentielles et disponibles. Tout ce que l'on sait, c'est qu'elles sont en train de s'amenuiser pour répondre à la demande mondiale.

C/ Quelles sont les propriétés du  
palladium ?

Zoom sur les caractéristiques du palladium et les points qui le différencient du platine.

- Le palladium est un **métal mou et malléable d'aspect blanc ou argenté**, qui ne devient pas terne lorsqu'il est exposé à l'air ambiant.
- Comme le platine, le palladium fait partie des métaux de transition qui présentent des **qualités de conduction de l'électricité et des propriétés catalytiques**.
- Dans le groupe des métaux platinoïdes, le palladium possède la **température de fusion la**

### RECETTE POUR TROUVER DU PALLADIUM, SELON WILLIAM HYDE WOLLASTON :

- prenez du platine brut ;
- dissolvez-le dans un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique ;
- neutralisez la solution avec de la soude ;
- formez un précipité avec du chlorure d'ammonium ;
- ajoutez-y du cyanure mercurique ;
- chauffez : vous obtenez du palladium !

Si les origines des métaux précieux se trouvent parfois dans l'Univers, c'est presque le cas du palladium. Plus exactement, son nom - choisi par William Hyde Wollaston - est inspiré de celui d'un objet céleste : l'astéroïde Pallas, découvert peu de temps avant le palladium, au début du 19<sup>e</sup> siècle.

moins élevée avec 1 554,8 °C et la **plus faible densité** : 12,02 g/cm<sup>3</sup>. Pour rappel, le platine fond à 1 769 °C et affiche une densité de 21,45 g/cm<sup>3</sup>.

- Le palladium a la particularité de pouvoir absorber des quantités très importantes de dihydrogène (forme moléculaire de l'hydrogène qui existe à l'état gazeux) : jusqu'à 900 fois son volume. Le platine aussi, mais dans une moindre mesure.

## LES USAGES DU PALLADIUM

Le palladium est présent presque partout : dans votre voiture à pot catalytique ou dans vos appareils électroniques. Vous pouvez aussi le porter sur des bijoux en or blanc ou encore en couronne dentaire, mais toujours en infime quantité.

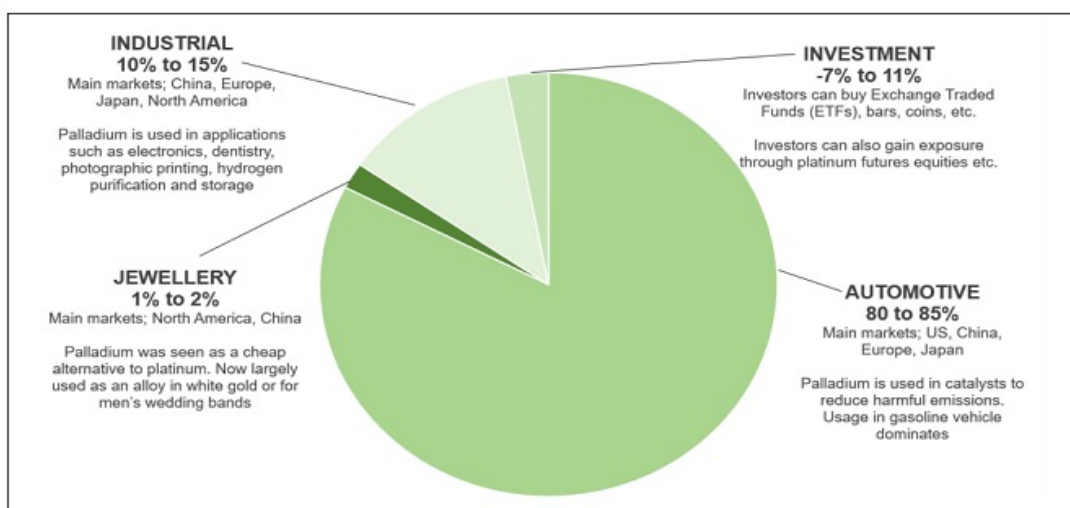
### A/ Catalyse et industrie automobile

Le palladium est, comme le platine, un métal employé dans la fabrication de pots catalytiques dans l'industrie automobile, pour diminuer la toxicité des gaz d'échappement. Il a d'ailleurs remplacé le platine dans les catalyseurs des moteurs essence depuis plusieurs années. Cette utilisation dans l'industrie automobile représente aujourd'hui la grande majorité de la consommation de palladium dans le monde (84 % en 2019).

## QUEL EST LE LIEN ENTRE DIESELGATE (VOLKSWAGEN) ET DEMANDE DE PALLADIUM ?

Le Dieselgate, scandale lié au trucage des chiffres des émissions polluantes des moteurs diesel Volkswagen, a entraîné une hausse de la demande de palladium et de son prix. La raison ? Après la révélation de l'affaire en 2015, les automobilistes ont délaissé le diesel au profit des moteurs à essence.

Le recyclage des pots catalytiques est devenu un enjeu important en raison de la présence de métaux précieux tels que le palladium. Les quelques grammes contenus dans la structure suffisent à créer un marché de la revente des pièces : par des moyens légaux pour ce qui concerne les pots en fin de vie, mais pas seulement. Le vol de pots catalytiques sur des véhicules en stationnement est un phénomène de plus en plus fréquent.



Répartition des usages du palladium en 2019, source : Johnson Matthey

## B/ Électronique

Le palladium est également très utilisé dans le secteur de l'électronique : il s'agit de son **deuxième usage le plus répandu après l'industrie automobile**. Le métal intervient dans la fabrication de composants, tels que des condensateurs en céramique ou des connecteurs, que l'on retrouve dans des appareils grand public. Certains téléphones mobiles et ordinateurs en sont équipés.

## C/ Piles à combustible et stockage d'hydrogène

Rappelez-vous : le palladium est capable de stocker d'immenses volumes de dihydrogène. Grâce à cette faculté - et sans rentrer dans le détail d'un cours de chimie -, le palladium se révèle très performant en tant qu'électrode dans les piles à combustible.

## D/ Bijouterie

**En bijouterie, le palladium fait partie des alternatives au nickel**, car les composés de ce dernier sont susceptibles de provoquer des allergies au contact de la peau. La mise sur le marché de bijoux contenant du nickel est par ailleurs interdite en France depuis un arrêté du 18 juillet 2000. Pour cette raison, certaines gammes d'or blanc sont constituées d'un alliage d'or, d'argent, de cuivre et de petites quantités de palladium. Les compositions et les teneurs en différents métaux varient au gré des fabricants.



## E/ Médecine et odontologie

Le saviez-vous ? Le palladium aurait été utilisé comme **traitement contre la tuberculose**, mais rapidement abandonné au profit de médicaments plus efficaces, en raison de la survenue d'effets secondaires indésirables.

De nos jours, le palladium entre dans la **composition d'alliages dentaires**, pour la fabrication de couronnes. Avant le recours aux pots catalytiques en automobile, il s'agissait de l'utilisation la plus répandue de ce métal.

## F/ Numismatique

Le palladium est utilisé pour frapper des **monnaies commémoratives, des pièces de collection ou des lingots**. La Maple Leaf canadienne en palladium, frappée pour la première fois en 2005 et rééditée tous les ans depuis 2015, est l'une des plus connues.



Pour l'anecdote, le palladium aurait été employé, comme le platine, pour fabriquer des monnaies en or de contrefaçon dans les colonies d'Amérique du Sud : les pièces étaient fourrées avec un autre métal que l'or pour créer l'illusion du poids. Un usage valable alors que le coût du palladium était bien inférieur à celui de l'or, ce qui n'est plus vraiment le cas au 21<sup>e</sup> siècle.

## QUELQUES ANECDOTES AUTOUR DU PALLADIUM

### A/ Le palladium dans la pop culture : métal précieux et source d'énergie vitale

Moins connu que l'or ou l'argent, le palladium trouve tout de même une petite place dans la culture populaire récente. Dans les deux exemples suivants, le métal est **prisé pour son caractère précieux**, mais pour des raisons bien différentes.

En 2008, le palladium apparaît **dans le film Iron Man**, où il est utilisé comme noyau du « Réacteur Arc » : **le cœur artificiel du héros Tony Stark, et aussi la source d'alimentation de son armure**. Dans Iron Man II, Tony Stark se met en quête d'un nouvel élément après avoir découvert que le palladium empoisonnait peu à peu son sang.

Si cet usage est complètement fictif, les mines de palladium constituent un important centre d'intérêt, plus proche de la réalité cette fois, **dans la série américaine Riverdale diffusée sur Netflix**. L'on découvre en effet dans la saison 5 (attention

spoilers) que l'un des personnages principaux tente depuis plusieurs années de **miner du palladium** sous une prison, dans le simple but de faire fortune.

### B/ La fusion nucléaire à froid et les stocks de palladium de la Russie

En 1989, deux chimistes déclarent avoir obtenu **une fusion nucléaire « à froid »** en plongeant des électrodes en palladium dans de l'eau lourde (de l'eau dont les atomes d'hydrogène sont remplacés par des atomes de deutérium). Le tout à température ambiante, résolvant ainsi le problème de la température élevée et de la production de déchets nucléaires.

Avec cette expérience, on comprend mieux pourquoi la Russie aurait rassemblé d'importants stocks de palladium pendant la Guerre Froide, pensant l'utiliser dans la fusion nucléaire à froid. Une seule ombre au tableau : depuis 1989, aucun autre scientifique n'a réussi à reproduire cette fusion à température ambiante. Et en parallèle, les stocks de palladium de la Russie s'épuisent pour répondre à la demande mondiale, sans que l'on connaisse leur niveau exact.

	Platine	Palladium	Or	Argent
Densité	21,45 g/cm <sup>3</sup>	12,02 g/cm <sup>3</sup>	19,32 g/cm <sup>3</sup>	10,5 g/cm <sup>3</sup>
Température de fusion	1 769 °C	1 554,8 °C	1 064 °C	961,8 °C
Oxydation	non	non	non	oui au contact de l'humidité
Chiffres 2020				
Extraction annuelle	152 T	191,8 T	3400,8 T	24 400 T
Recyclage annuel	51,1 T	97 T	1297,4 T	5 664 T
Demande investissement : - lingots, pièces, - ETF	28 T	- 5,8 T	1773,2 T	6 237 T
Demande joaillerie	49,3 T	2,9 T	1411,6 T	4 622 T
Demande industrie automobile	69,1 T	264,2 T	--	--
Demande industrie globale	--	--	301,9 T (dont électronique)	15 141 T (dont photovoltaïque)
Demande électronique	7,3 T	19,7 T	248,1 T	3 142 T (photovoltaïque)

Sources :  
Johnson Matthey PLC (platine et palladium) <https://matthey.com/-/media/files/pgm-market-report/pgm-market-report-feb-21-english.pdf>  
World Platinum Council (platine et palladium) [https://platinuminvestment.com/files/832946/PQ\\_Table\\_Q3\\_2021.pdf](https://platinuminvestment.com/files/832946/PQ_Table_Q3_2021.pdf)  
World Gold Council (or) <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends/gold-demand-trends-full-year-2020/investment>  
Silver Institute (argent) <https://www.silverinstitute.org/silver-supply-demand/>

## CONCLUSION

### LE PLATINE ET LE PALLADIUM SUPER STARS DU DÉBUT DU MILLÉNAIRE SONT-IL ENCORE DES PRODUITS EN DEVENIR ?

Le platine et le palladium ont débuté leur période faste avec la multiplication des pots catalytiques, ce qui a permis un développement important de la filière de recyclage. Ainsi, la récupération de platine/palladium, essentiellement dans les pots catalytiques, représente 40 % du volume extrait chaque année. Une utilisation essentielle pour réduire les particules fines émises par les moteurs à explosion.

Avec la fin de la mobilité carbonée, on pourrait penser que ces métaux précieux vont connaître un désintérêt de l'industrie automobile. Sauf, que le platine et le palladium ont un avenir dans la mobilité électrique. En effet, ils sont liés au développement d'un hydrogène « propre », issu de l'électrolyse de l'eau. Aujourd'hui, on utilise encore des procédés qui consomment beaucoup d'énergie, avec une forte production de CO<sub>2</sub>. Le rendement de l'hydrogène s'en retrouve fortement diminué.

#### L'hydrogène, une énergie d'avenir ?

Le gouvernement français a décidé d'investir dans cette filière de l'hydrogène vert. Un crédit de pratiquement 7 milliards d'euros jusqu'en 2030 vient d'être alloué aux industriels.

Or, on trouve jusqu'à 30 g de platine ou de palladium dans une pile à combustible, élément indispensable pour la recharge d'un moteur électrique avec ce gaz vert.

La mobilité décarbonée se transformera obligatoirement en achats de nombreuses Koz de platine.

Le retour en grâce d'un métal précieux pour un avenir durable.

