

Panorama du marché des platinoïdes

Présentation de l'étude menée au
2^{ème} semestre 2013 au BRGM,
avec quelques mises à jour

Jean-François Labbé
BRGM/DGR

Séminaire du COMES, 18 février 2015

Cadre de l'étude

Les monographies par substances minérales demandées par le MEDDE

Monographies réalisées en 2010-2014 : panoramas des marchés de			
Début 2010	Fin 2010-2011	2011-2012	2013(-2014)
Gallium	Béryllium	Antimoine	Cobalt
Germanium	Molybdène	Graphite naturel	Platinoïdes
Niobium	Rhénium	Lithium	
Terres rares	Sélénium	Tantale	
	Tellure	Tungstène	
En cours de finalisation : refonte de la monographie sur les Terres Rares			

Objectif : contribuer à déterminer l'exposition de la France aux risques pesant sur les approvisionnements en chacune de ces substances et leur importance économique pour l'industrie française.

Les versions publiques (hors points confidentiels) de ces monographies sont téléchargeables sur le portail Mineralinfo (www.mineralinfo.fr).

Plan type des panoramas

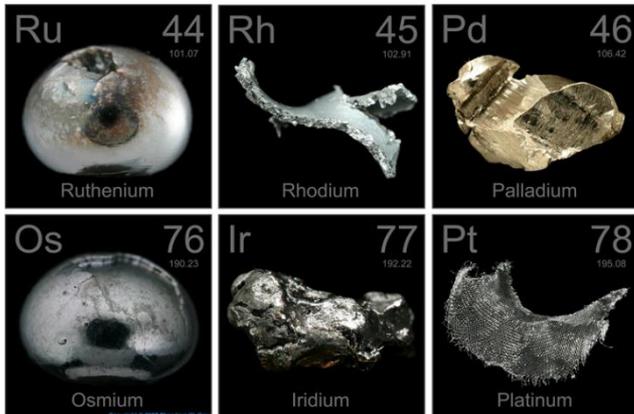
Ces panoramas ont passé en revue :

- L'état de la demande, la revue des **usages**, la quantification de la **consommation** mondiale et l'anticipation de son **évolution** possible ;
- L'état de l'offre, avec un inventaire des **ressources** connues, des **productions**, et des sources d'**approvisionnement primaires et secondaires**, l'évaluation de son **évolution** possible ;
- L'identification des **utilisateurs français**, mais aussi européens et mondiaux, et les **besoins** des acteurs français sur l'ensemble de la filière industrielle de la substance ;
- Une évaluation de la **vulnérabilité de l'industrie française** vis-à-vis de la substance, et des propositions de leviers d'action.

selon le plan-type suivant :

1. Introduction
2. Généralités et propriétés de la substance
3. La demande : usages et consommation, substitutions, perspectives d'évolution
4. L'offre : ressources et production mondiale, perspectives d'évolution, recyclage
5. Les prix
6. Les acteurs industriels : producteurs, transformateurs, utilisateurs français, européens, mondiaux
7. Le commerce extérieur de la France
8. La criticité et les recommandations d'actions

Les platinoïdes



Les platinoïdes

ou "Éléments du Groupe du Platine" (EGP / PGE)

© www.periodictable.com

**6 métaux voisins
du tableau de
Mendeleïev :**

- **Ruthénium** (Ru)
- **Rhodium** (Rh)
- **Palladium** (Pd)
- **Osmium** (Os)
- **Iridium** (Ir)
- **Platine** (Pt)

identifiés progressivement
entre 1752 et 1844

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57-71 Lanthanides	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89-103 Actinides															
			Lanthanides :	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
			Actinides :	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Les platinoïdes

- > Classés avec l'or et l'argent comme "métaux précieux".
- > Métaux **très rares** dans la croûte terrestre. Le plus commun, Pd, est au 70^{ème} rang sur 83 des éléments qui y sont significativement présents.

	Platinoïdes légers			Argent	Platinoïdes lourds			Or	Unité
	Ruthénium	Rhodium	Palladium		Osmium	Iridium	Platine		
Symbole	Ru	Rh	Pd	Ag	Os	Ir	Pt	Au	
Numéro atomique	44	45	46	47	76	77	78	79	
Masse atomique	101.07	102.906	106.42	107.87	190.23	192.217	195.078	196.97	
Rayon atomique	134	135	137	144	130	135	138	135	pm
Densité	12.45	12.41	12.02	10.5	22.587	22.562	21.45	19.3	
Point de fusion	2 333°C	1 963°C	1 555°C	962°C	3 033°C	2 446°C	1 768°C	1 064°C	°C
Point d'ébullition	4 147°C	3 695°C	2 963°C	2 162°C	5 008°C	4 428°C	3 825°C	2 836°C	°C
Résistivité à 0°C	7.1	4.33	9.78	1.47	8.12	4.71	9.6	2.05	10 ⁻⁸ Ω.m
Dureté Mohs	6.5	5.5	4.75	2.5	7	6.5	4-4.5	2.5	
Coeff. de dilatation thermique	9	8	12	19.1	6	7	9	14	10 ⁻⁶ K ⁻¹
Abondance naturelle	1 ppb	1 ppb	15 ppb	75 ppb	1.5 ppb	1 ppb	5 ppb	4 ppb	

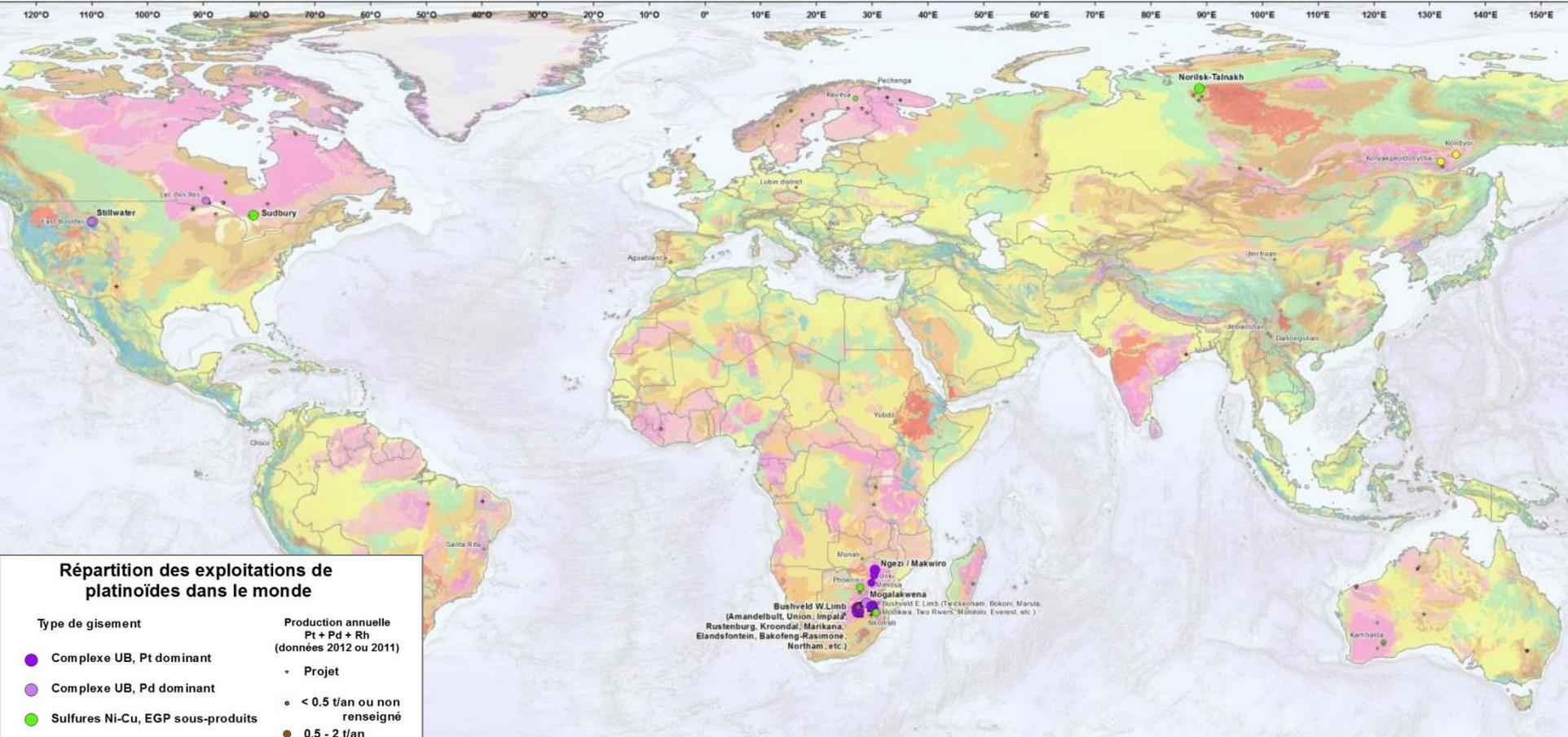
Les platinoïdes

- > Les EGP ont des **propriétés chimiques voisines**. La plupart résistent bien à l'oxydation, même à haute température, à l'altération et à la corrosion. D'où usages de certains en joaillerie et en alliages dentaires, entre autres ;
- > Pt, Pd, Rh (+/- Ru) ont des **propriétés catalytiques remarquables**, qui en conditionnent leur principal usage industriel (catalyse automobile et chimique) ;
- > **Pas de rôle biologique connu**. Peu toxiques aux doses auxquelles on peut être confronté (=> alliages dentaires), à l'exception des tétroxydes d'osmium (OsO_4) et de ruthénium (RuO_4), extrêmement toxiques. Le premier est dangereux car très volatil, et l'osmium s'oxyde facilement en tétroxyde lorsqu'il est finement divisé (poudre).
- > Concentrés, au cours des processus géologiques et métallogéniques, dans les **mêmes gisements**. Pratiquement toujours associés, mais à des teneurs inégales. Les plus abondants sont le Pt et Pd et, selon les types de gisements, c'est l'un ou l'autre qui domine. Les 4 autres métaux en sont des sous-produits.
- > Volumes concernés :
 - **Platine** et **Palladium** : production primaire de **180 à 200 t/an** chacun, grande importance économique et industrielle ;
 - **Rhodium** : production primaire de l'ordre de **25 t/an**
 - **Ruthénium** : **~20 t/an**, **Iridium** : **~5 t/an**, applications spécialisées.
 - **Osmium** : **<1 t/an**, usages de micro-niche

Les platinoïdes – principaux usages

Élément	Consommation brute (t)						Prix moyen 2014 en US\$/oz	Prix moyen 2014 en €/kg	Ordre de grandeur du marché	Usages dominants, Monde (2013)
	2008	2009	2010	2011	2012	2013				
Pt	248.5 t	211.3 t	245.9 t	251.8 t	249.8 t	261.9 t	1 384 US\$/oz	33 451 €/kg	11.7 GUS\$	Catalyse automobile 37.1% Joierie 32.5% Placements 9.1%
Pd	257.8 t	244.2 t	302.8 t	266.2 t	310.1 t	299.5 t	803 US\$/oz	16 140 €/kg	7.7 GUS\$	Catalyse automobile 72.4% ; Industries électriques et électroniques 11.0%, Industrie chimique 5.3%
Rh	27.9 t	22.3 t	27.6 t	28.2 t	30.3 t	31.6 t	1 173 US\$/oz	28 416 €/kg	1.2 GUS\$	Catalyse automobile 78.8% ; Industrie chimique 7.8%; Verrerie 3.9%
Ir	3.2 t	2.5 t	10.5 t	10.3 t	6.0 t	6.2 t	556 US\$/oz	13 464 €/kg	111 MUS\$	Électrochimie 29.8% Ind. électriques et électroniques 18.2% Industrie chimique 10.1%
Ru	21.7 t	17.9 t	29.4 t	31.0 t	20.6 t	25.8 t	65 US\$/oz	1 569 €/kg	54 MUS\$	Ind. électriques et électroniques 64.1% Électrochimie 15.1% Industrie chimique 12.6%
Os	<< 1 t	<< 1 t	<< 1 t	<< 1 t	<< 1 t	<< 1 t	400 US\$/oz	9 693 €/kg	< 12 MUS\$	<i>Production et consommation non publiées</i>

Mines de platinoïdes dans le Monde



Répartition des exploitations de platinoïdes dans le monde

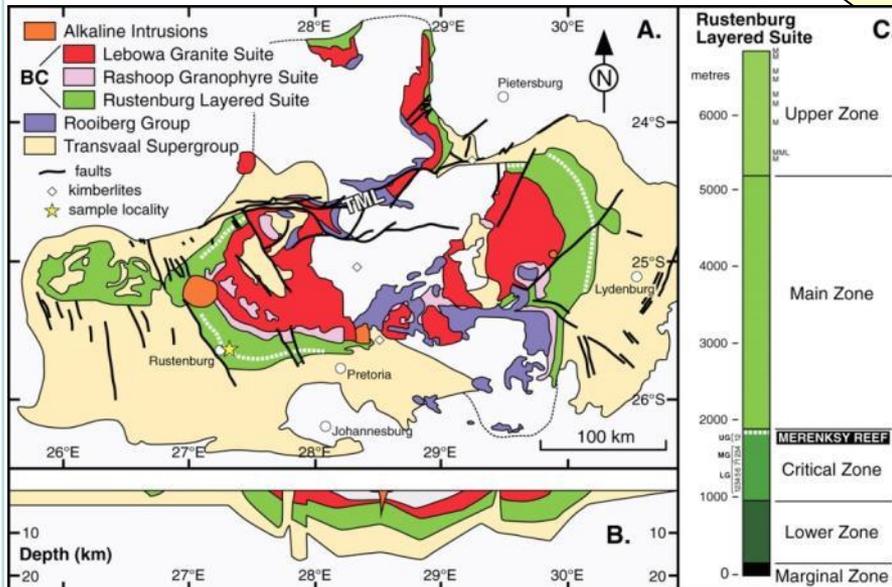
Type de gisement	Production annuelle Pt + Pd + Rh (données 2012 ou 2011)
● Complexe UB, Pt dominant	• Projet
● Complexe UB, Pd dominant	• < 0,5 t/an ou non renseigné
● Sulfures Ni-Cu, EGP sous-produits	● 0,5 - 2 t/an
● Cuvivre sédimentaire	● 2 - 10 t/an
● Placers	● > 10 t/an
● Tailings	
● Non précisé / Autres	



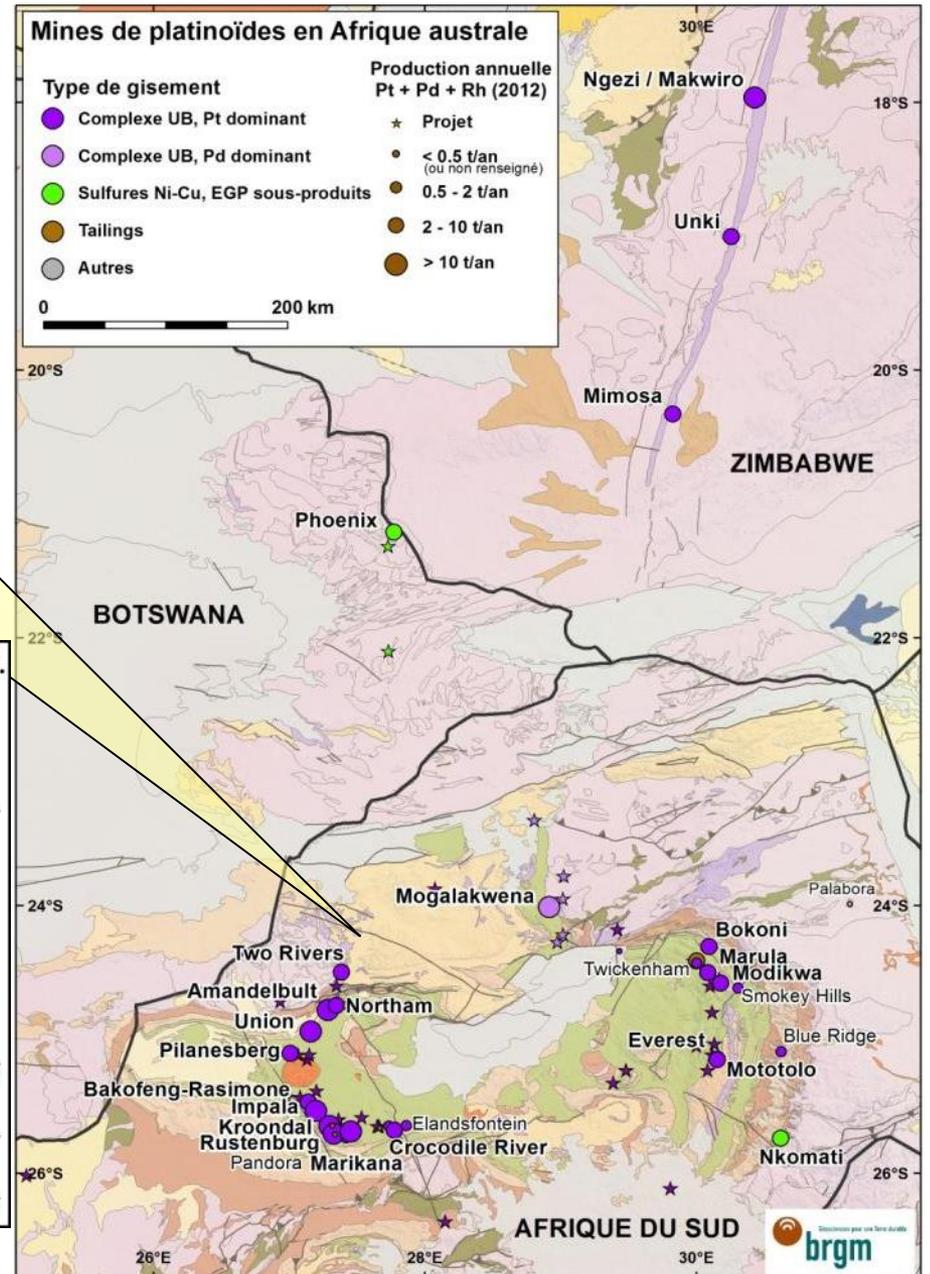
- Pas de ressources en France métropolitaine. Géologie défavorable. Très petits indices en Nouvelle-Calédonie ;
- Quelques gisements en UE :
 - mine de Ni-Cu-EGP de Kevitsa (Finlande), a produit 1 t Pt et 0,8 t Pd en 2014 ;
 - mines de Cu du district de Lubin (Pologne), qui produisent quelques dizaines de kg de Pt et Pd en sous-produit de Cu et Ag.

Mines de platinoïdes en Afrique australe

Le Bushveld d'Afrique du Sud : environ 80% des ressources et réserves mondiales en platine et en rhodium, et 50 à 60% de celles en palladium



© Scoates @ Friedmann, 2008, <http://econgeol.geoscienceworld.org/content/103/3/465.full.pdf+html>



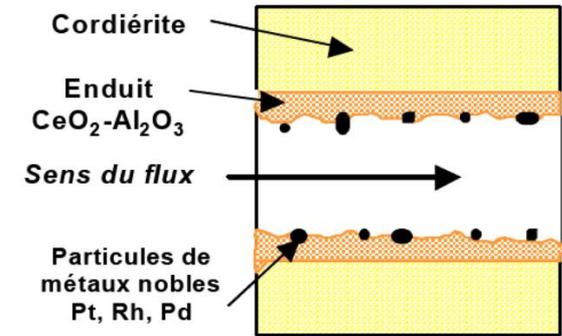
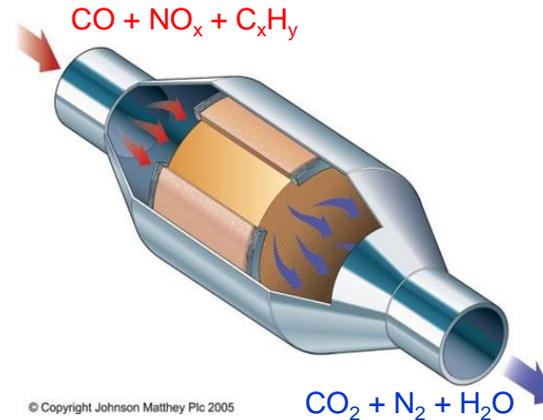
Types de gisements de platinoïdes

Classification des gisements de métaux du groupe du platine, selon Wilbur & Bleiwas, USGS, 2004 (adapté)

Contexte	Type	Minéralisation	Exemples	Importance
Gisements liés au magmatisme basique et ultrabasique				
Complexes intrusifs basiques / ultrabasiques lités	Couches à sulfures disséminés enrichis en EGP	EGP dominants (Pt ≥ Pd)	Merensky Reef du Bushveld (Afr. du Sud) ; Grand Dyke (Zimbabwe)	Ressources majeures en EGP
	Chromitites stratiformes enrichies en EGP	EGP dominants (Pt ≥ Pd)	UG2 Reef du Bushveld (Afr. du Sud) ; Panton (Australie)	Ressources majeures en EGP
	Pipes discordants de dunités	EGP dominants (Pt ≥ Pd)	Quelques pipes exploités jadis dans l'Eastern Limb du Bushveld (Afr. du Sud)	Petits gisements riches
	Sulfures massifs à disséminés au contact de l'encaissant	Cu, Ni, et Pd > Pt	Platreef du Bushveld (Afr. du Sud) ; Complexe de Duluth (Minnesota, USA)	Ressources majeures en EGP
Sills et dykes ayant alimenté de grands épanchements basaltiques continentaux	Sulfures massifs à disséminés	Ni, Cu, et Pd > Pt	Norilsk-Talnakh (Russie) ; Jinchuan (Chine)	Ressources majeures en EGP
Ceintures de roches vertes archéennes	Sulfures disséminés à massifs dans des komatiites	Ni, Cu, et Pd > Pt	Kambalda (Australie-Occid.) ; Thompson (Ontario, Canada)	Ressources significatives en EGP
Intrusion basique / ultrabasique liée à un astroblème	Corps sulfurés en bordures des intrusions	Ni, Cu, et Pd > Pt	Sudbury (Ontario, Canada)	Ressources significatives en EGP
Orogène liée à une subduction	Sulfures disséminés	Pd > Pt	Lac des Iles (Quebec, Canada)	Ressources significatives en EGP
Ophiolites	Sulfures disséminés dans des cumulats ultrabasiques	Cr, Cu, Ni, Pd, Pt	Acoje (Philippines)	Ressources marginales en EGP
Intrusions ultrabasiques zonées de type alaskéennes	Alliages Fe-Pt dans des chromitites et des dunités	Ti, V EGP marginaux	Oural, Kondyor (Russie)	Peu de production primaire, mais source de minéralisations en placer
Gisements épigénétiques de surface				
Sur intrusions ultrabasiques zonées	Placers dérivés d'intrusions ultrabasiques zonées	Pt, Os, Ir	Oural, Kondyor (Russie) ; Colombie ; Alaska	Production historique significative d'EGP
Sur intrusions ultrabasiques zonées	Latérites développées sur des intrusions ultrabasiques	Ni, Co, EGP	Syerston (Australie)	Non exploité, en projet.

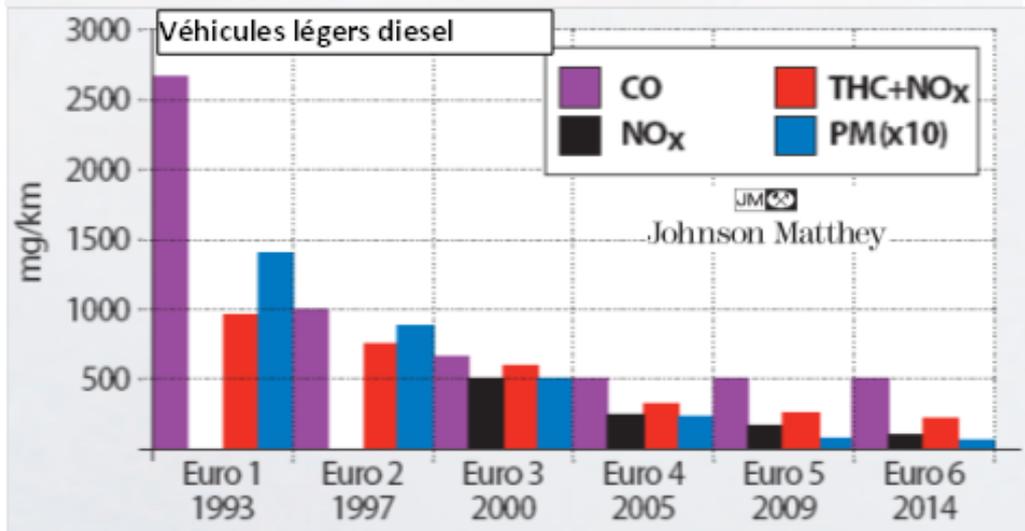
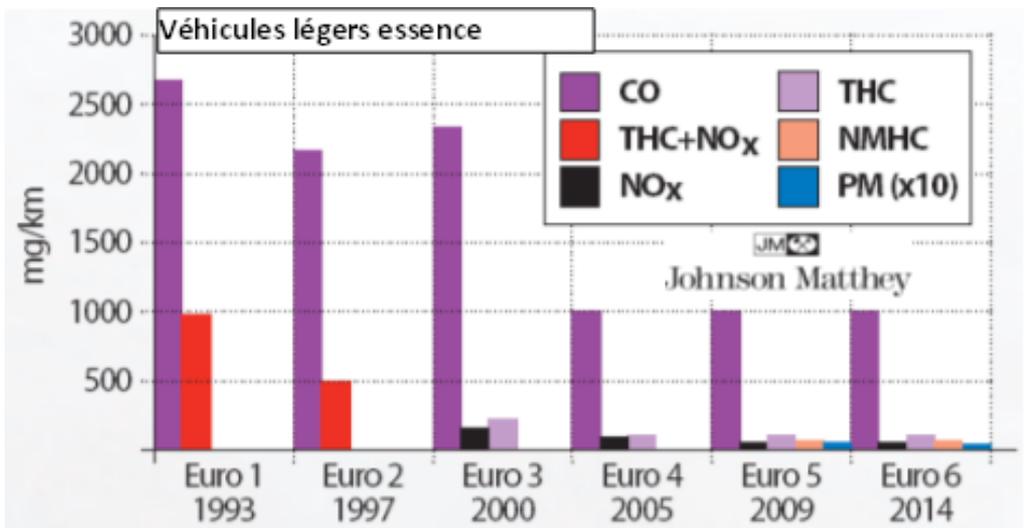
La catalyse automobile en bref

La catalyse automobile



- > Pots catalytiques développés à partir de 1974, généralisés dans les années 1990 ;
- > Objectif : convertir le maximum de composés polluants des gaz d'échappement (CO, NO_x, C_xH_y) en composés non nocifs (CO₂, N₂ et H₂O) ;
- > Pt domine pour les moteurs diesel, Pd préféré pour les moteurs à essence car moins cher, mais plus sensible au soufre (donc moins utilisé dans les pays où l'essence est moins dé-soufrée). Un peu de Rh améliore la dissociation des NO_x ;
- > Proportions variables, ajustées en fonction des prix, de la sévérité des normes et de l'évolution technologique. Ordres de grandeur en Europe :
 - véhicules à essence : +/- 2 g de Pd+Pt avec Pd largement dominant, et 0,1 g Rh
 - véhicules diesel : +/- 2 g de Pt+Pd, avec Pt largement dominant.
- > La norme Euro6, plus stricte, en cours d'entrée en vigueur (PL : sept.2014, VL : sept.2015) demande une plus forte charge en platinoïdes.

Normes antipollution automobile en UE

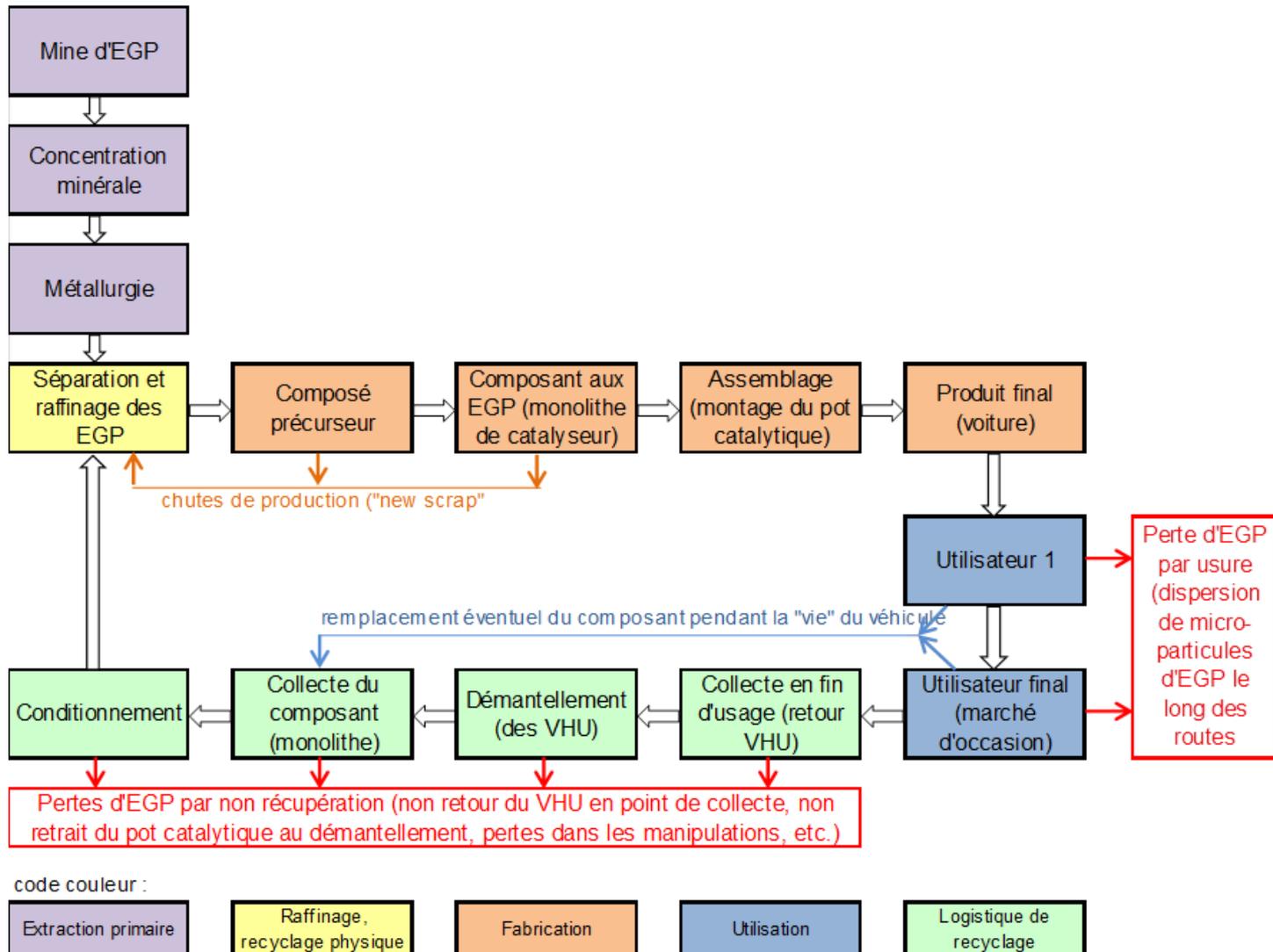


- THC : Hydrocarbures imbrûlés totaux ;
- NMHC : Hydrocarbures imbrûlés autres que le méthane ;
- NO_x : Oxydes d'azote ;
- PM : Particules fines ;
- CO : Monoxyde de carbone

Platinoïdes – cycle de vie des catalyseurs automobiles

Schéma du "cycle de vie" des EGP, dans l'exemple des catalyseurs automobiles

(traduit et adapté d'après Umicore & Öko-Ins titut e.V., 2006)



Le platine (Pt)

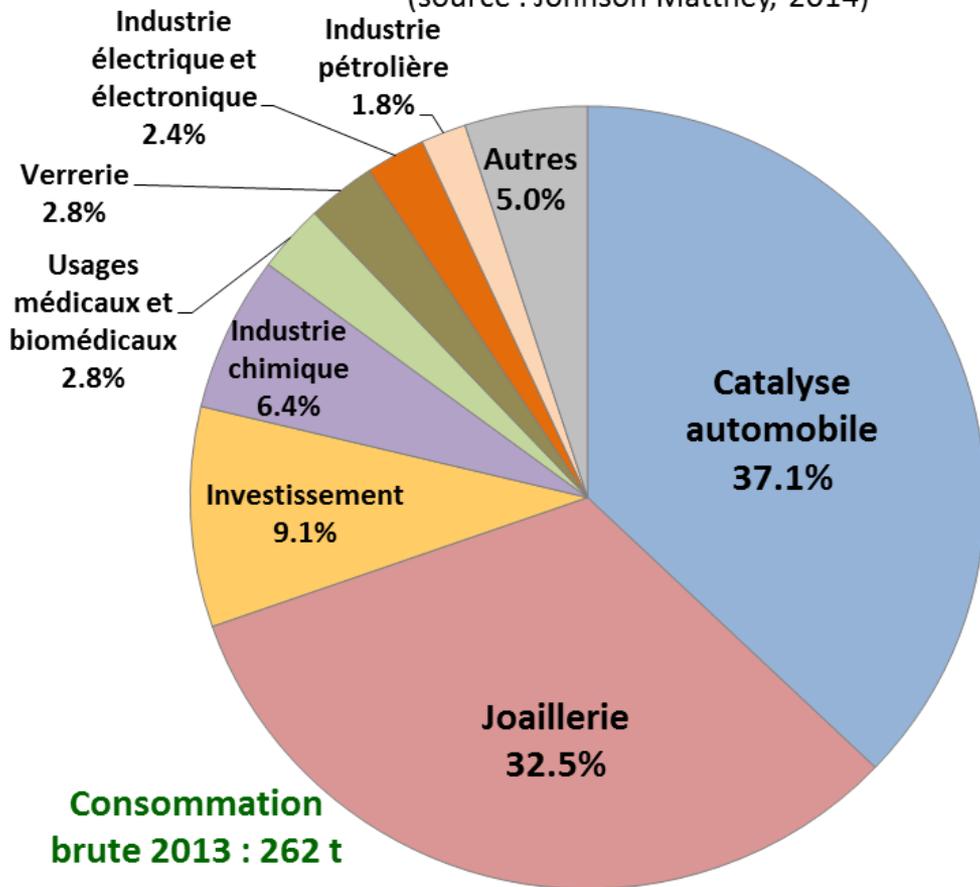


© www.kitco.com

Platine – usages

Répartition des usages mondiaux du platine en 2013

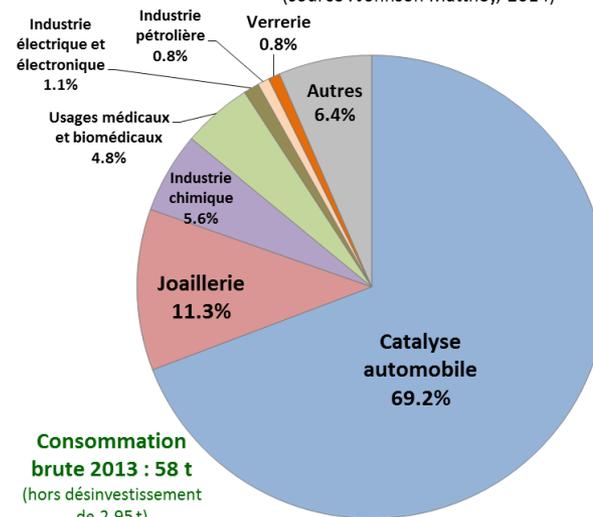
(source : Johnson Matthey, 2014)



*Usages médicaux : cisplatine et carboplatine utilisés pour traiter certains cancers (chimiothérapie).
Alliages Pt-Os utilisés pour certains implants (stimulateurs cardiaques, etc.)*

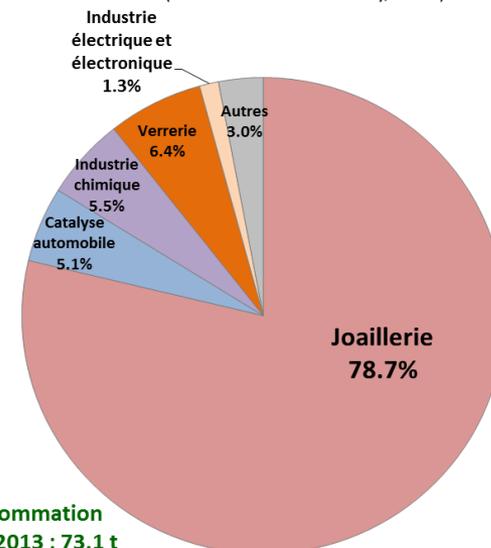
Répartition des usages du platine en Europe en 2013

(source : Johnson Matthey, 2014)



Répartition des usages du platine en Chine en 2013

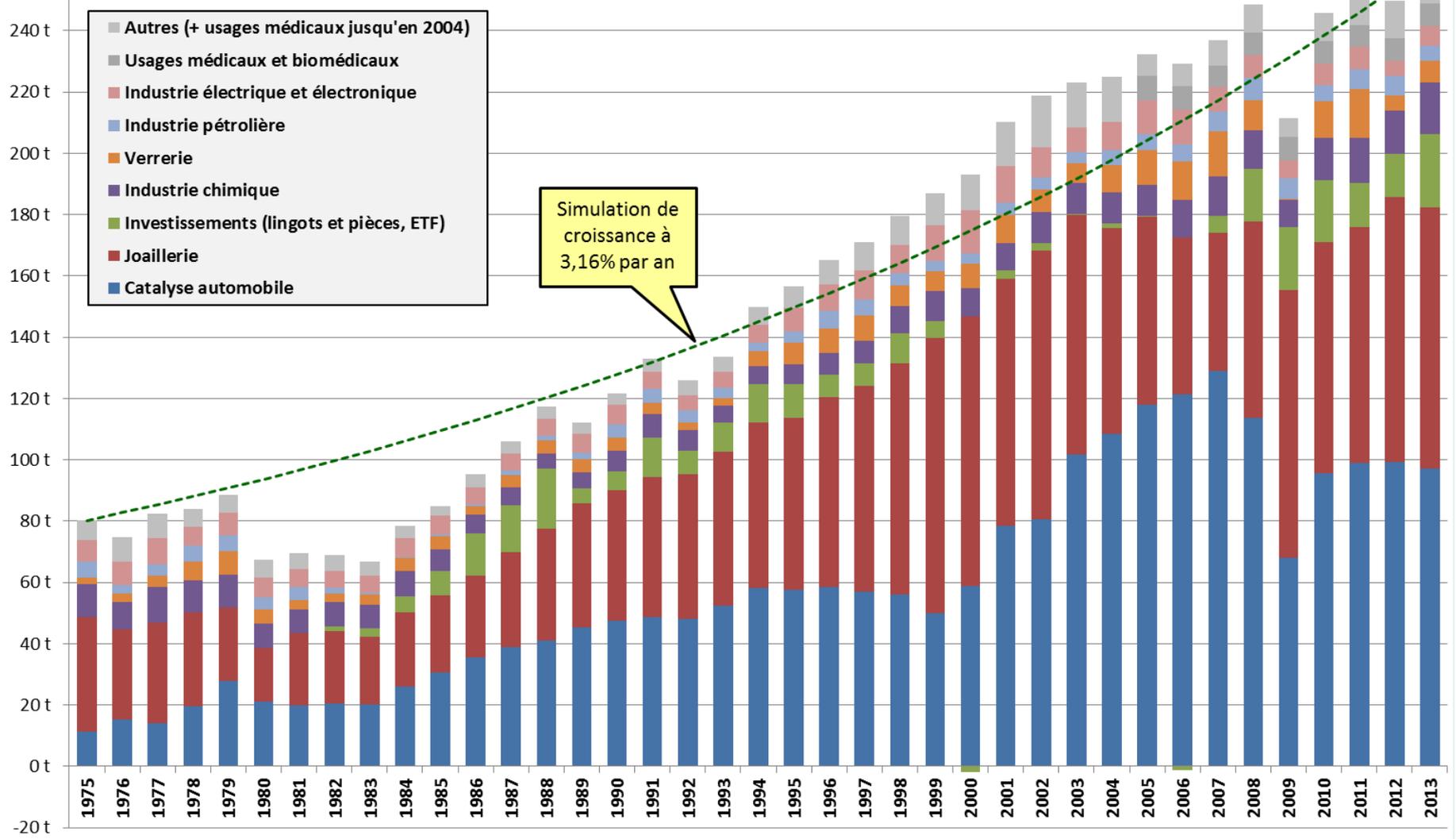
(source : Johnson Matthey, 2014)



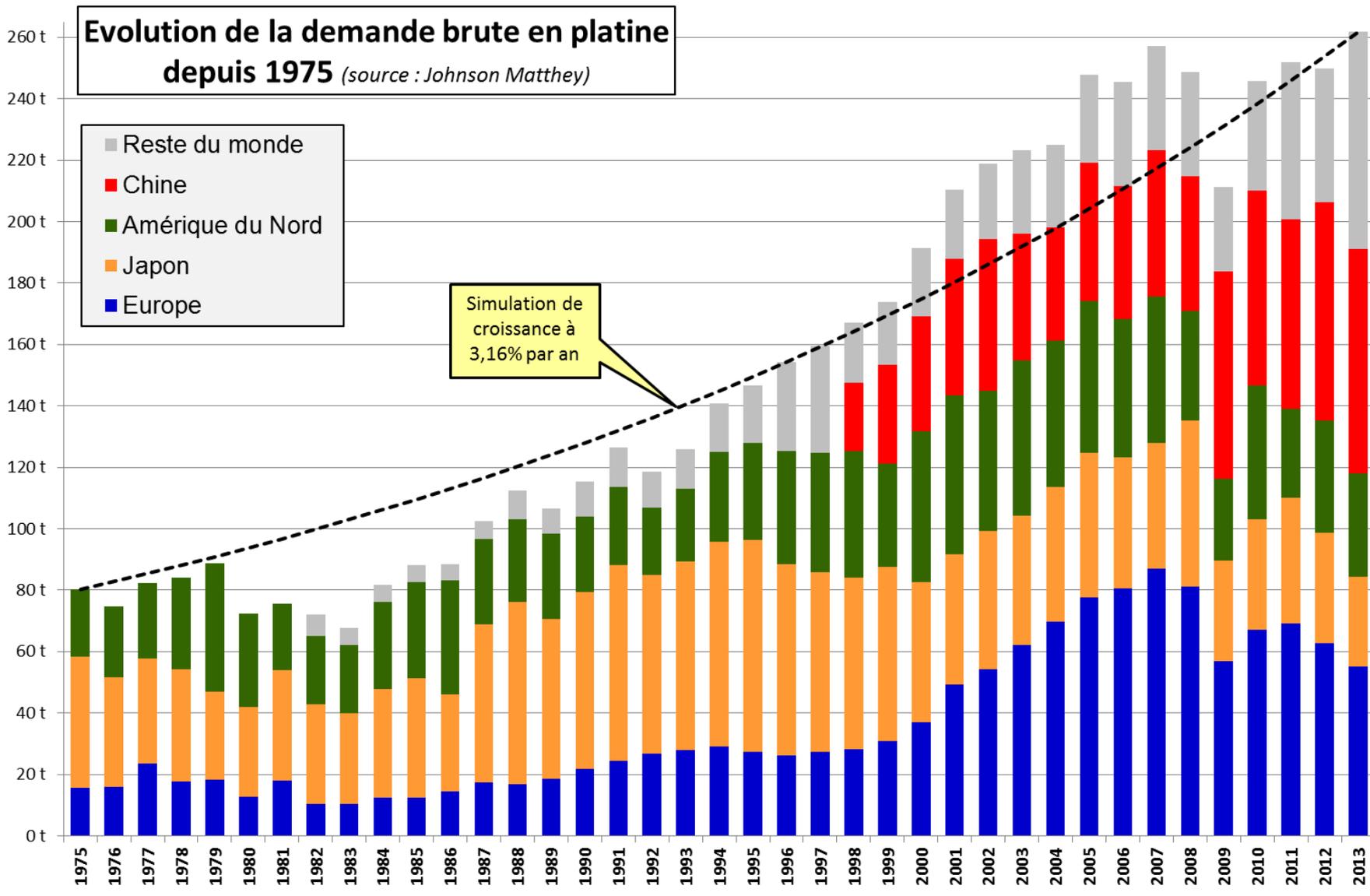
Platine – Évolution de la demande par usage

Evolution de la demande brute en platine depuis 1975

(source : Johnson Matthey)

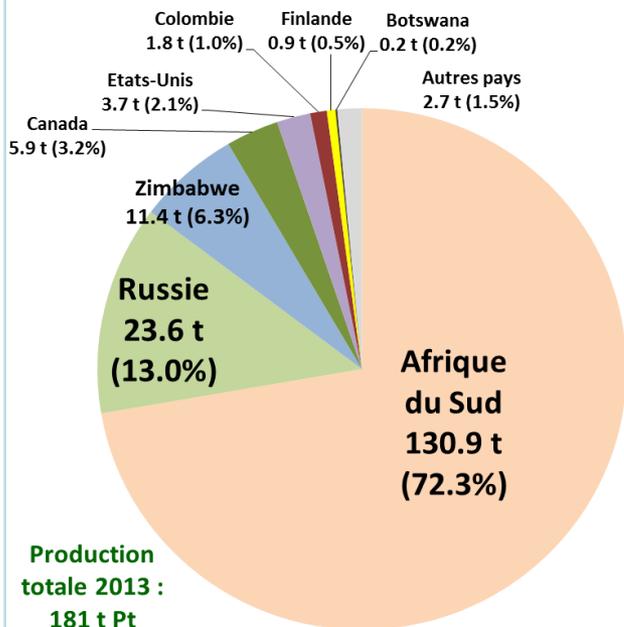


Platine – Évolution de la demande par ensemble géographique



Platine – production minière

Répartition de la production minière de platine par pays en 2013 (sources : Johnson Matthey, divers)

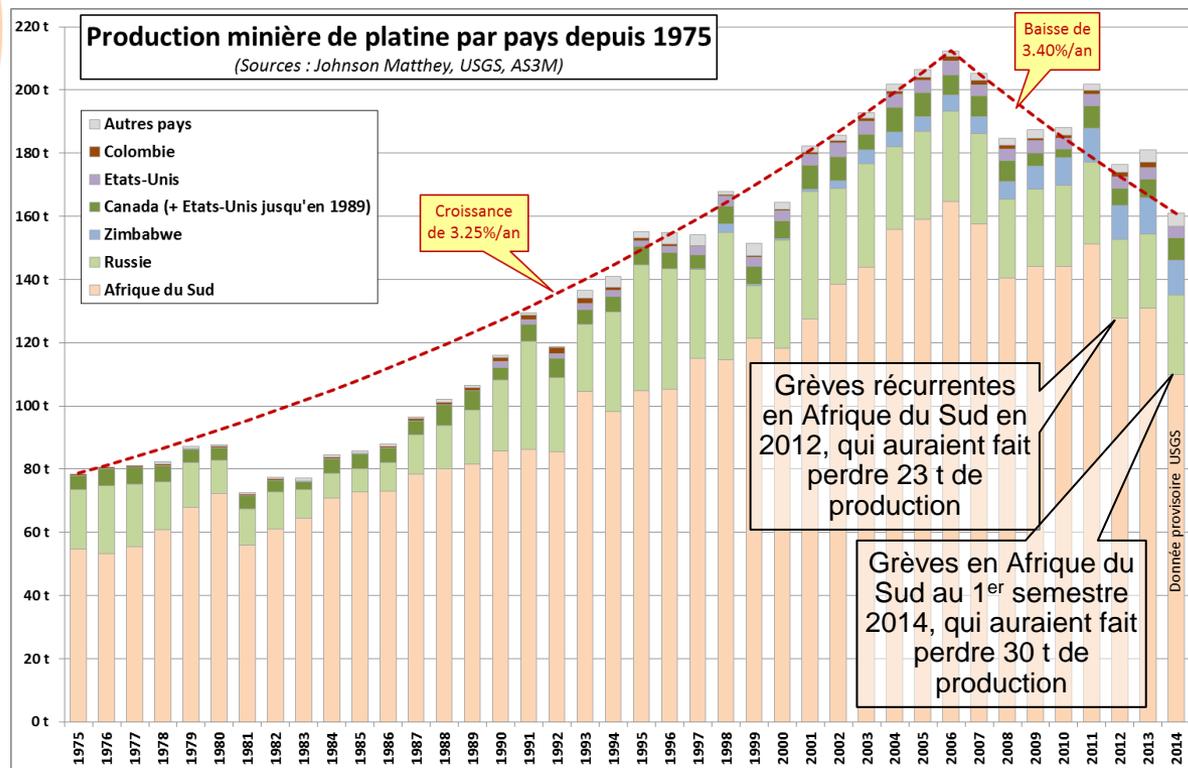


Mine à ciel ouvert de Mogalakwena (Amplats), Afrique du Sud



Mine souterraine de Marikana (Lonmin), Afrique du Sud

Photo Alamy, The Guardian du 2 octobre 2008 (www.theguardian.com/business/2008/oct/02/lonmin.xstrata)

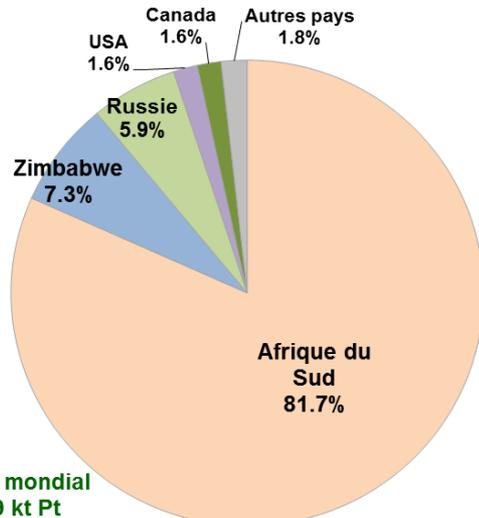


Platine

Ressources et réserves

Répartition des réserves en platine par pays

(compilé d'après SNL 2013)

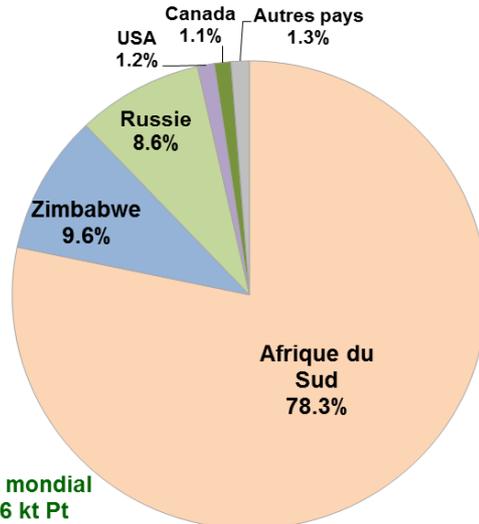


Total mondial
7.9 kt Pt

(équivalent à 44 ans de la production de 2013, ou 27 ans d'une production qui croîtrait de 3.16%/an)

Répartition des ressources en platine par pays

(compilé d'après SNL 2013)

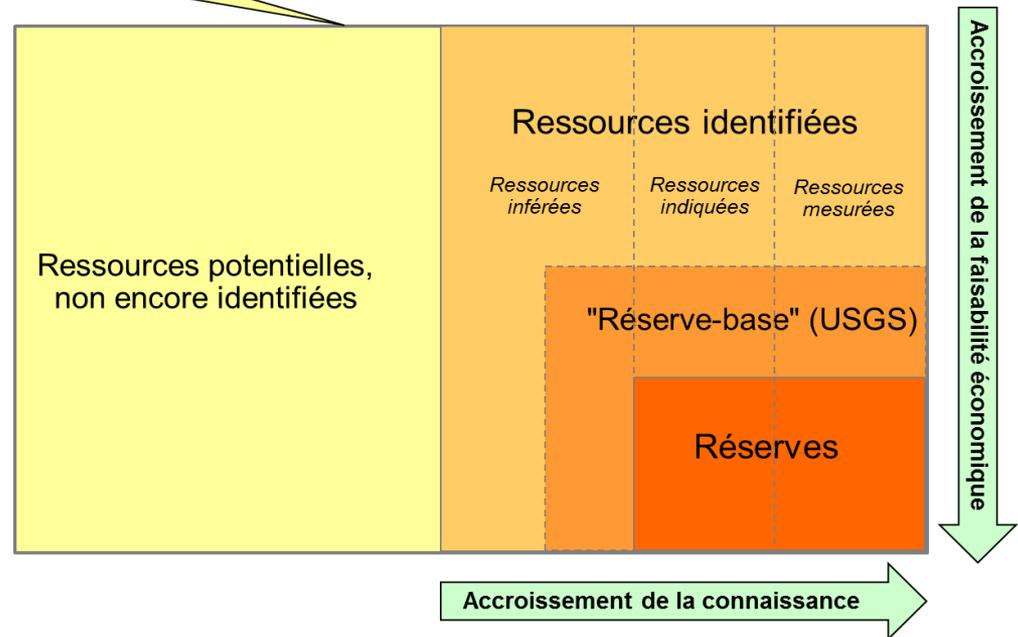


Total mondial
42.6 kt Pt

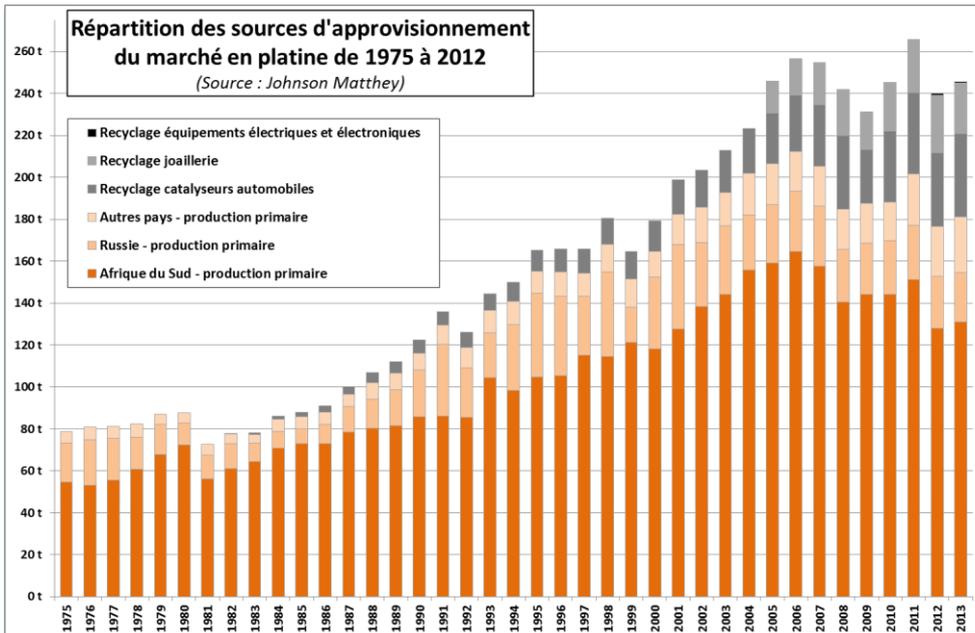
(équivalent à 235 ans de la production de 2013, ou 68 ans d'une production qui croîtrait de 3.16%/an)

Rappel : Qu'est-ce qu'une ressource ? une réserve ?

Ressources ultimes
("dotation géologique")

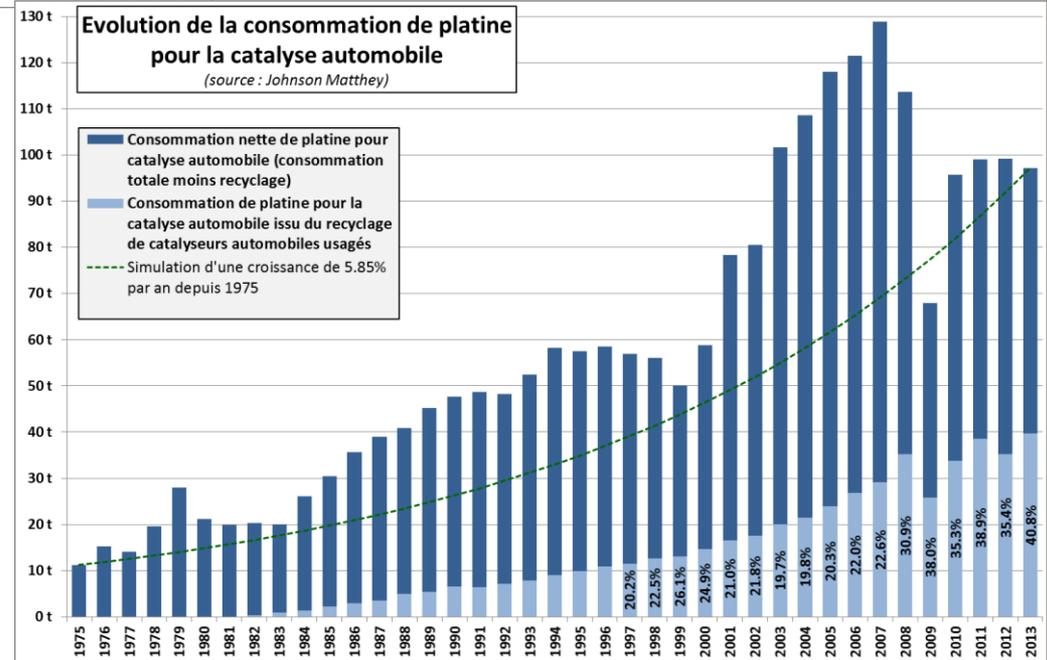


Platine - Recyclage



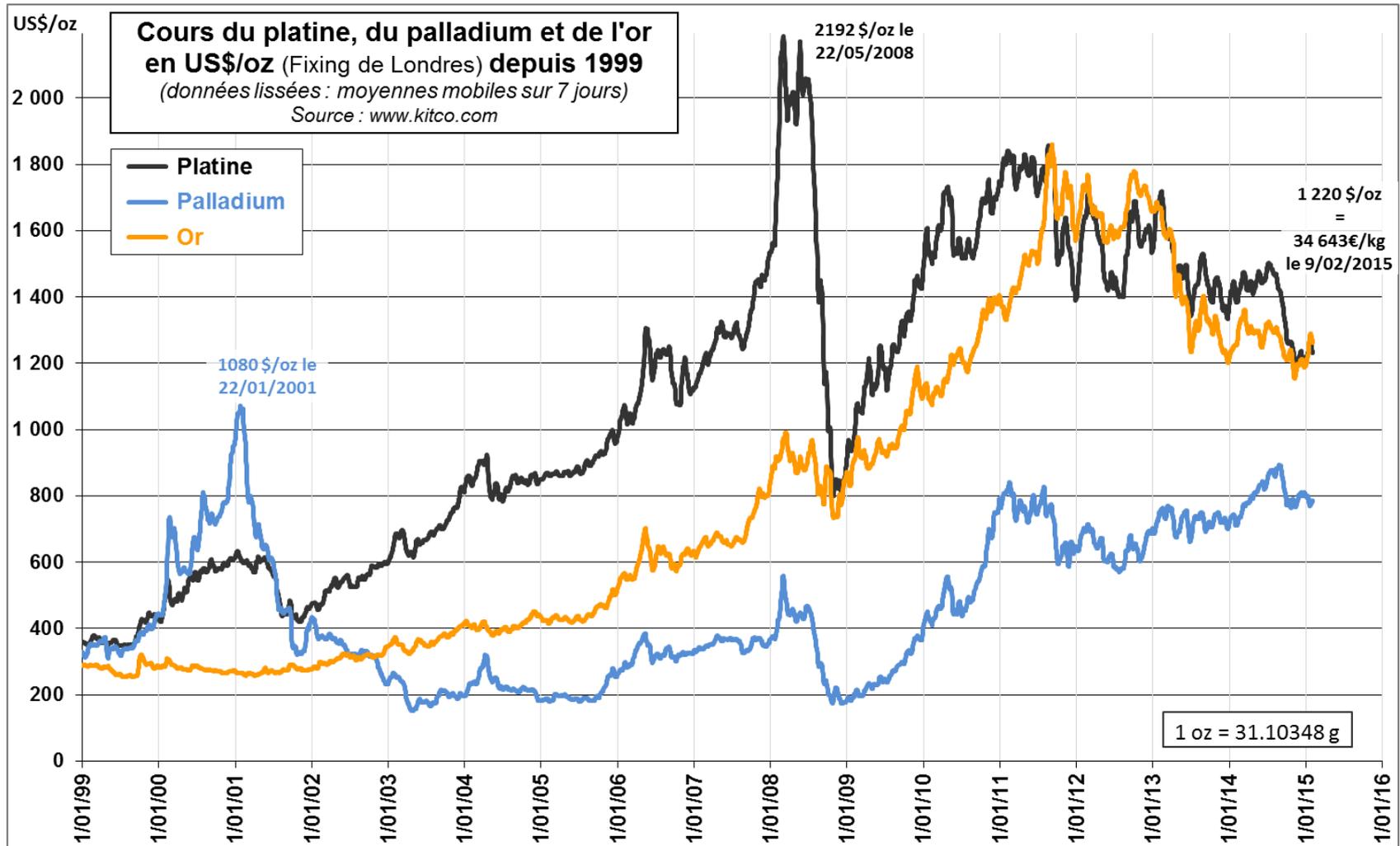
Monolithes de catalyseurs imprégnés de platinoïdes, usagés, pour recyclage
(© Umicore)

- Taux de recyclage en fin de vie : 60 à 70% (Graedel *et al.*, 2011) ;
- Contenu des approvisionnements en platine secondaire : 26% en 2013 (dont 61% issus des catalyseurs automobiles et 37% de la joaillerie) ;
- Contribution du recyclage des catalyseurs automobile pour l'approvisionnement de la filière des catalyseurs automobiles : 40% ;
- Recyclage en croissance depuis la fin des années 1980.



Platine – prix

Le platine et le palladium à 99,95% sont cotés quotidiennement sur diverses places financières et par divers opérateurs. L'une des cotations de référence est celle du London Platinum and Palladium Market (www.lppm.com), qui établit des "fixings" deux fois par jours, en US\$ par once Troy (Tr.oz.). Ces prix sont repris sur le site de Kitco, par exemple (www.kitco.com) avec ceux de l'or et de l'argent.



Platine – Commerce extérieur français

Statistiques françaises d'import-export de platine et de nomenclatures identifiées comme contenant du platine

Données brutes de collecte, CAF-FAB hors matériel militaire. Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2011			2012			2013			Evolution 2012-2013		Principaux partenaires en 2013 (% des masses)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
Platine, brut, en poudre, barres, fils, feuilles, semi-ouvré (71101100, 71101910, 71101980)												
Exportations	47 968 k€	2 666 kg	18.0 €/g	60 316 k€	1 918 kg	31.4 €/g	61 516 k€	1 873 kg	32.8 €/g	2.0%	-2.3%	Allemagne 37 %, Etats-Unis 17%, Roy.-Uni 16%
Importations	100 009 k€	4 189 kg	23.9 €/g	129 437 k€	5 023 kg	25.8 €/g	95 114 k€	6 787 kg	14.0 €/g	-26.5%	35.1%	Allemagne 46%, Etats-Unis 32%
Solde	-52 041 k€	-1 522 kg		-69 121 k€	-3 105 kg		-33 598 k€	-4 914 kg				
Plaqué ou doublé de platine sur autres métaux, sous formes brutes ou mi-ouvrées (71110000)												
Exportations	139 k€	2 t		482 k€	0 (<0.5 t)		152 k€	0 (<0.5 t)		-68.5%		Andorre, Etats-Unis, Italie (% n.d.)
Importations	59 k€	0 (<0.5 t)		142 k€	0 (<0.5 t)		102 k€	1 t		-28.2%		Hong-Kong, Etats-Unis, Allemagne, Thaïlande
Solde	80 k€	2 t		340 k€	0 t		50 k€	-1 t				
Déchets et débris de platine, de plaqués ou doublés de platine et autres déchets et débris contenant du platine (71129200)												
Exportations	97 385 k€	270 t	360.7 €/kg	57 918 k€	352 t	164.5 €/kg	46 909 k€	520 t	90.2 €/kg	-19.0%	47.7%	Allemagne, Belgique, Etats-Unis, Norvège
Importations	20 769 k€	296 t	70.2 €/kg	3 650 k€	114 t	32.0 €/kg	17 880 k€	412 t	43.4 €/kg	389.9%	261.4%	Allemagne, Turquie, Portugal, Italie, Suisse
Solde	76 616 k€	-26 t		54 268 k€	238 t		29 029 k€	108 t				
Catalyseurs sous forme de toiles ou de treillis en platine (71151000)												
Exportations	2 001 k€	36 t	55.6 €/kg	3 152 k€	54 t	58.4 €/kg	2 087 k€	27 t	77.3 €/kg	-33.8%	-50.0%	Allemagne, Autriche, Algérie (% n.d.)
Importations	25 298 k€	176 t	143.7 €/kg	32 506 k€	167 t	194.6 €/kg	31 579 k€	103 t	306.6 €/kg	-2.9%	-38.3%	Allemagne, Norvège, Royaume-Uni (% n.d.)
Solde	-23 297 k€	-140 t		-29 354 k€	-113 t		-29 492 k€	-76 t				
Cumul tous produits où du platine est identifié (métal, plaqués, déchets et débris, toiles de catalyseur)												
Exportations	147 493 k€	311 t		121 868 k€	408 t		110 664 k€	549 t		-9.2%	34.6%	
Importations	146 135 k€	476 t		165 735 k€	286 t		144 675 k€	523 t		-12.7%	82.8%	
Solde	1 358 k€	-166 t		-43 867 k€	122 t		-34 011 k€	26 t		-22.5%		

- NB :**
1. Les 3 dernières nomenclatures ne peuvent pas être utilisées pour des bilans de masse de platine, puisque la teneur en Pt des masses échangées n'est pas documentée et n'est pas uniforme ni constante ;
 2. La France n'importe pas son platine des pays producteurs miniers, seulement des pays de raffinage ou de transit.
 3. La France exporte son gisement secondaire au lieu de le valoriser sur place (solde exportateur net de 29 M€ en 2013 sur les déchets et débris contenant du platine)

Le palladium (Pd)

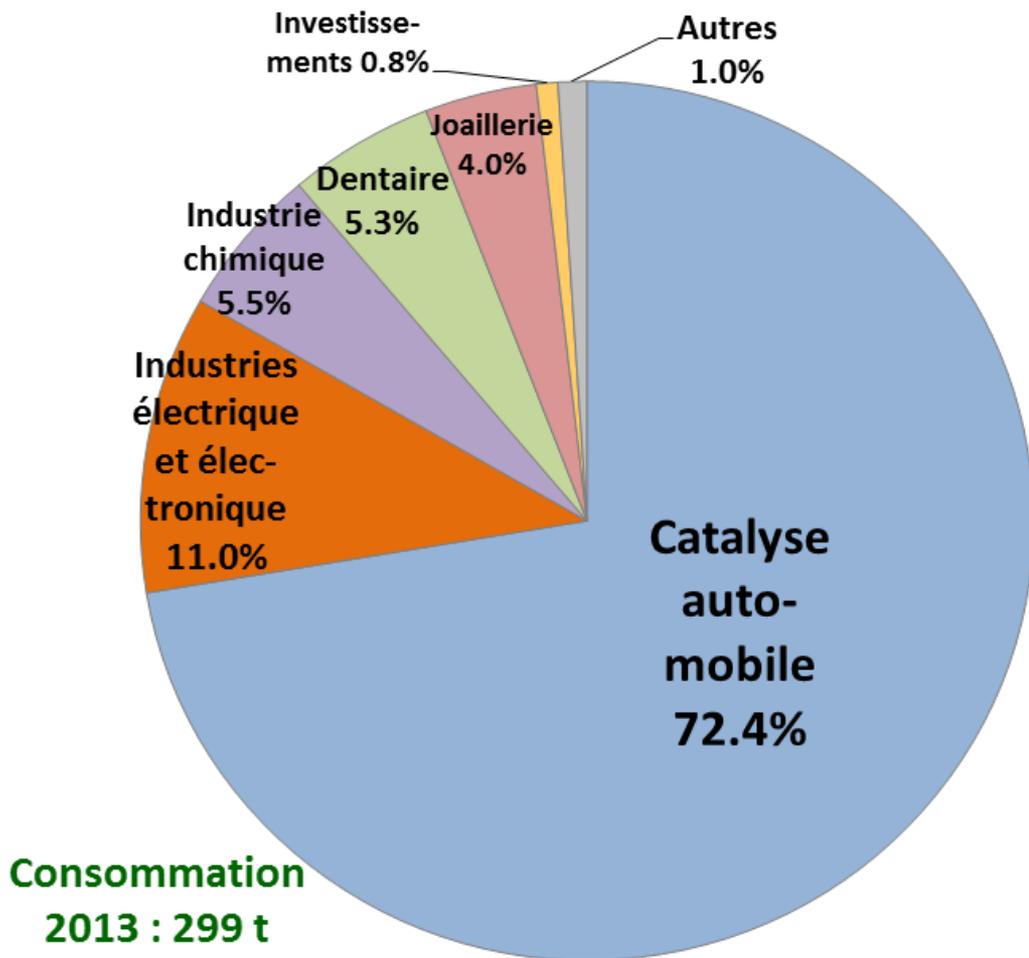


© www.apmex.com



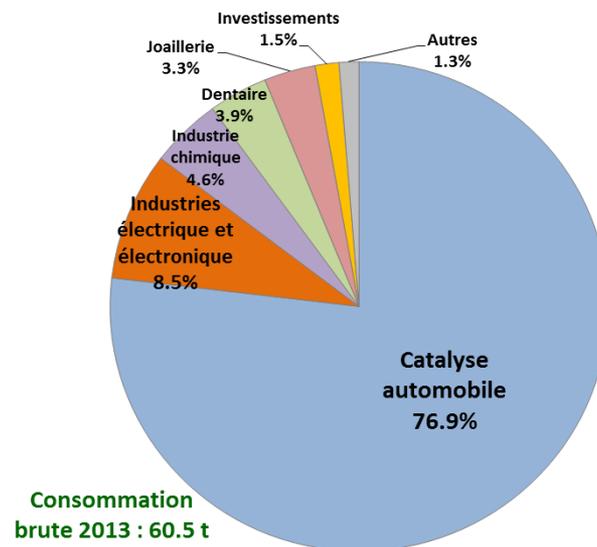
Palladium – usages

Usages mondiaux du palladium en 2013 (source : Johnson Matthey, 2013)



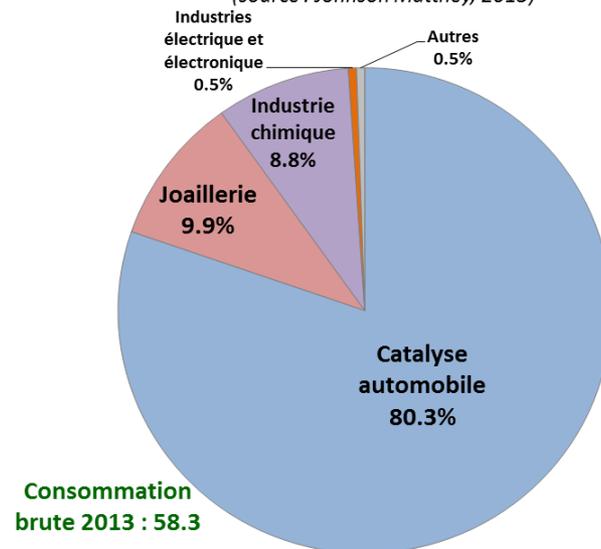
Usages du palladium en Europe en 2013

(source : Johnson Matthey, 2013)

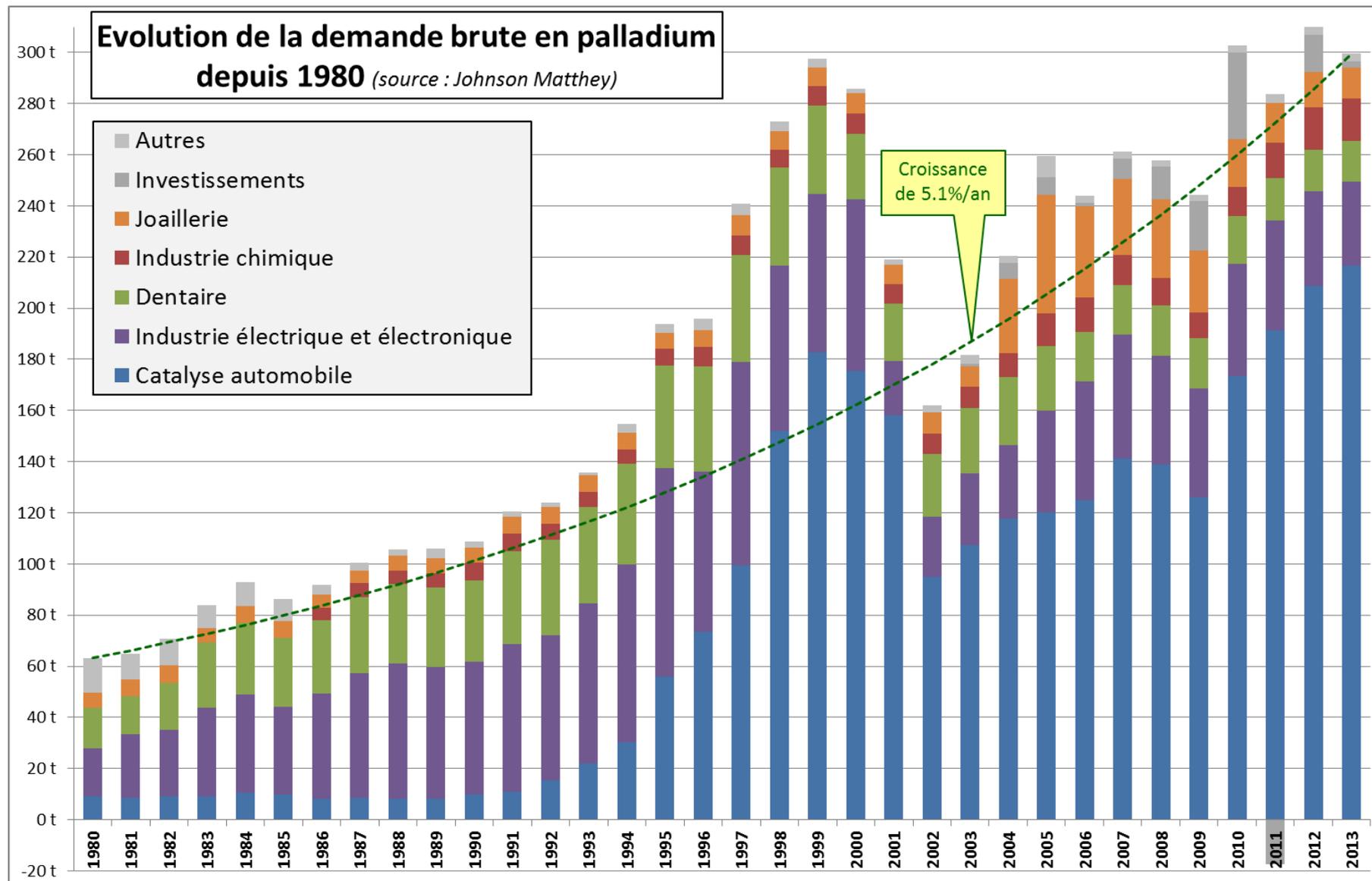


Usages du palladium en Chine en 2013

(source : Johnson Matthey, 2013)

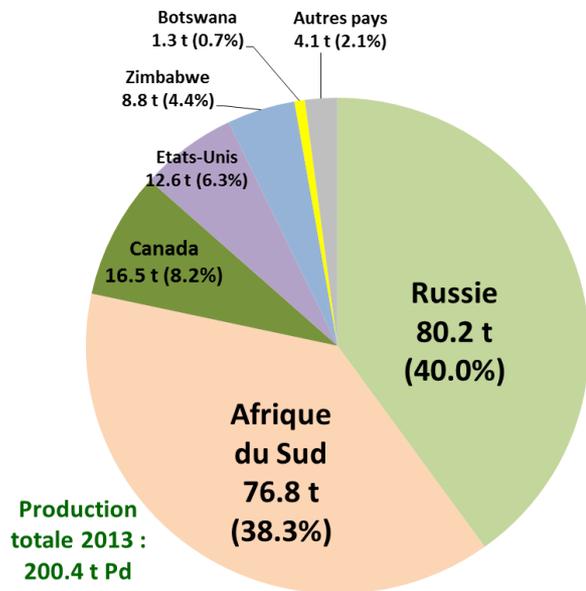


Palladium – Évolution de la demande par usage

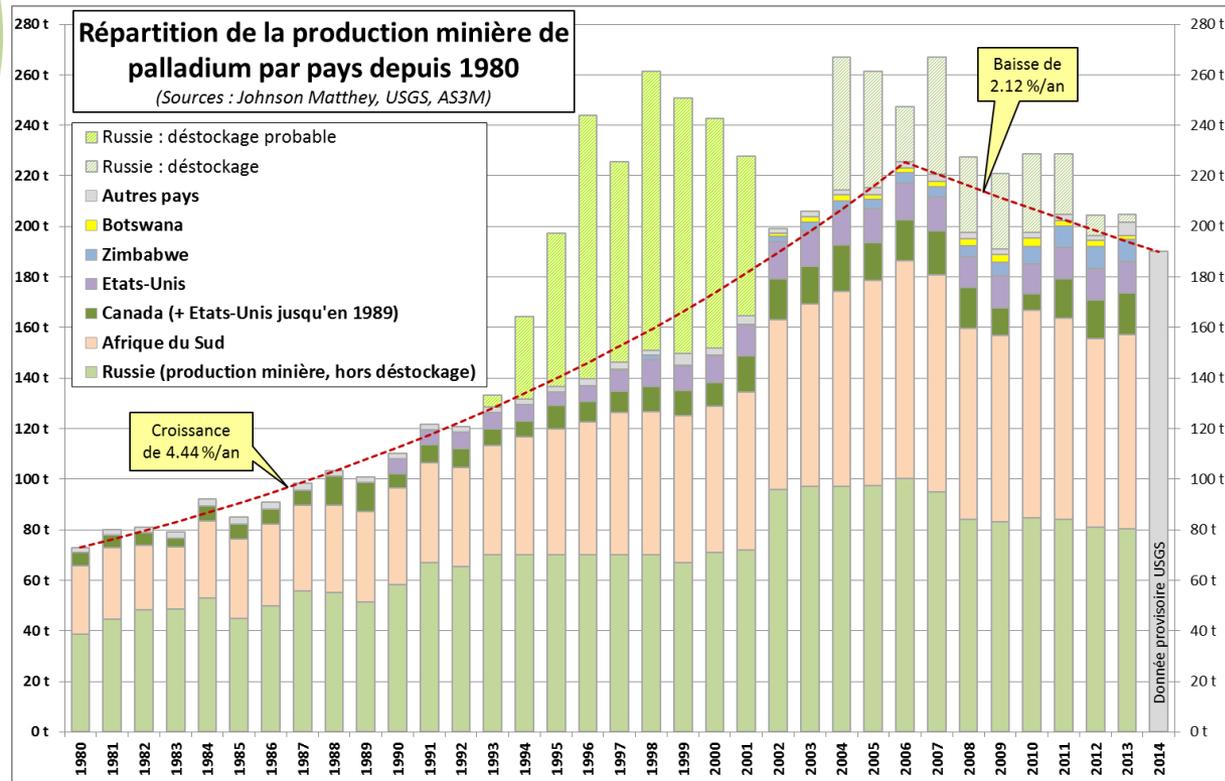


Palladium – production minière

Répartition de la production minière de palladium par pays en 2013 (sources : Johnson Matthey, divers)



Le complexe minier et métallurgique de Norilsk (Russie)



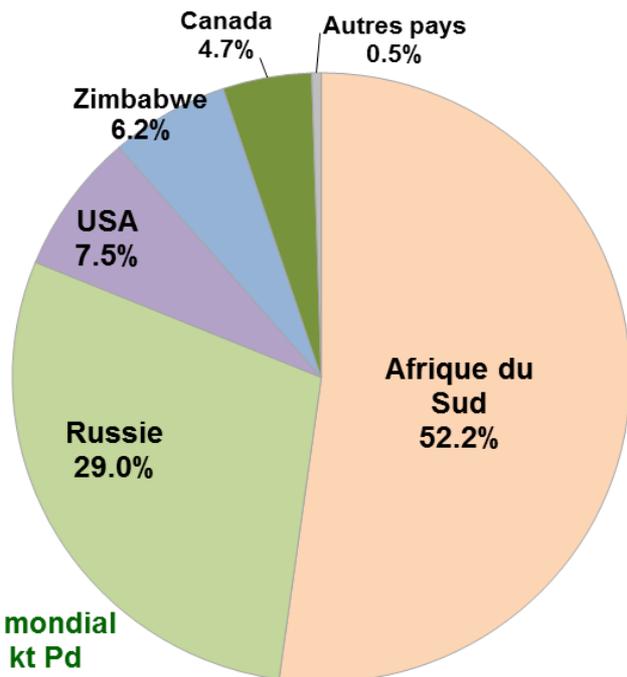
Le complexe minier et métallurgique de Norilsk (Russie)

Palladium

Ressources et réserves

Répartition des réserves en palladium

(compilé d'après SNL 2013)

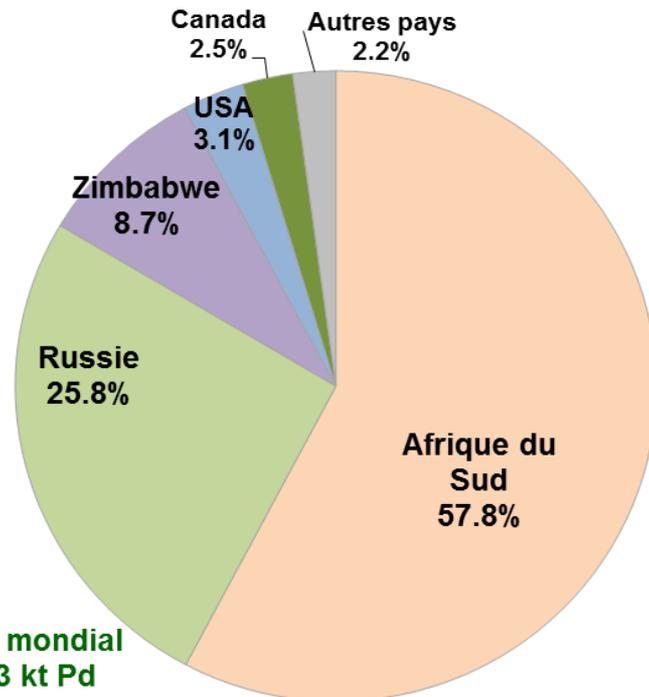


Total mondial
6.1 kt Pd

(équivalent à 30 ans de la production de 2013, ou 18 ans d'une production qui croîtrait de 4.83%/an)

Répartition des ressources en palladium

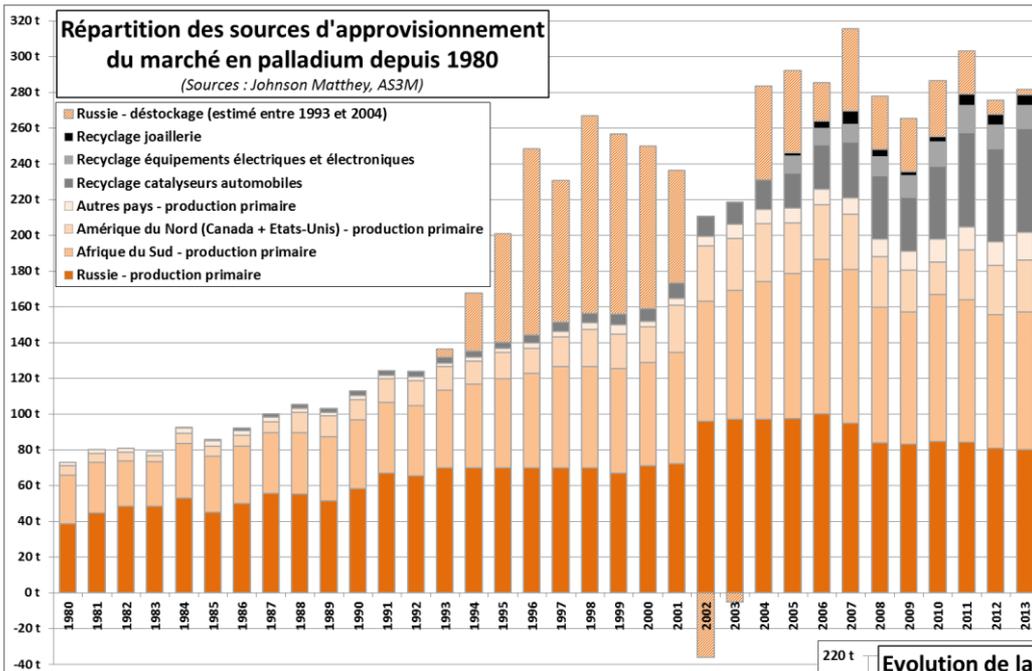
(compilé d'après SNL 2013)



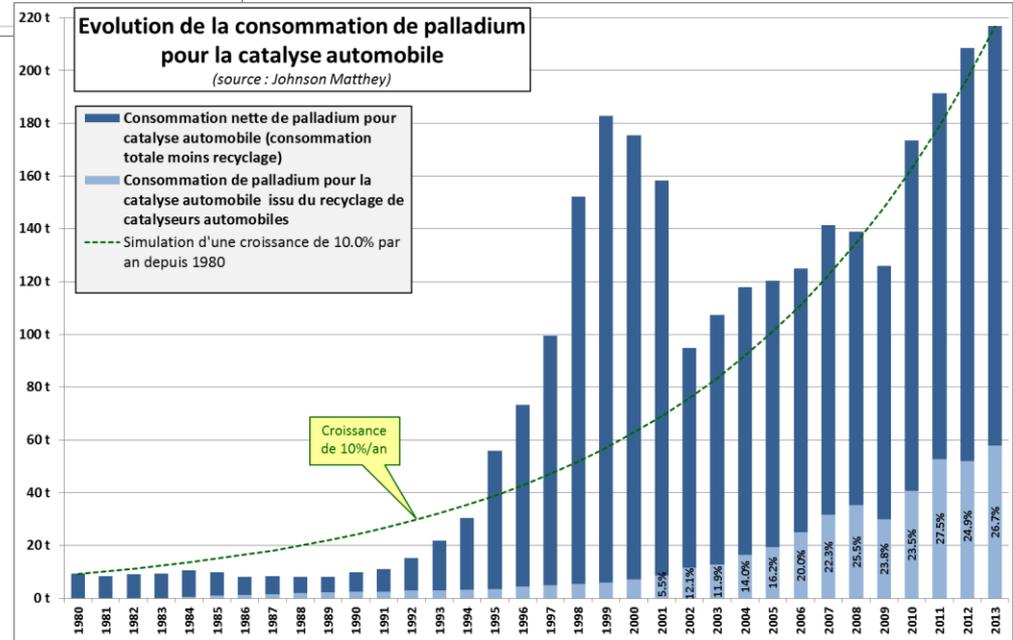
Total mondial
38.3 kt Pd

(équivalent à 191 ans de la production de 2013, ou 49 ans d'une production qui croîtrait de 4.83%/an)

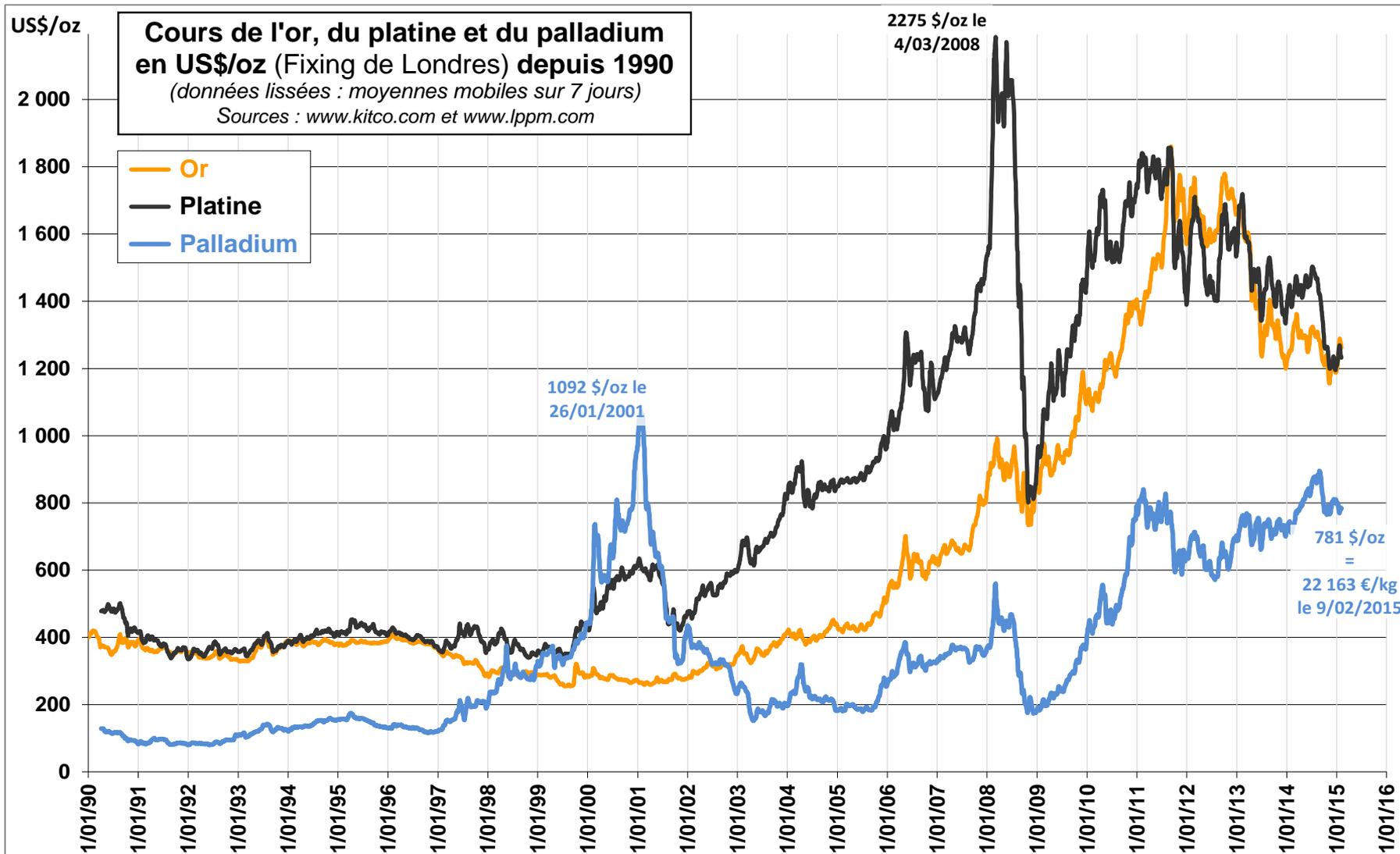
Palladium Recyclage



- Taux de recyclage en fin de vie : 60 à 70% (Graedel *et al.*, 2011) ;
- Contenu des approvisionnements en palladium secondaire : 26% en 2013 (dont 75% issus des catalyseurs automobiles et 17% des DEEE) ;
- Contribution du recyclage des catalyseurs automobile pour l'approvisionnement en Pd de la filière des catalyseurs automobiles : 27% ;
- Recyclage en croissance depuis la fin des années 1980.



Palladium – prix



Le prix du palladium assez ferme en 2014 alors que les prix de la quasi-totalité des autres matières premières minérales étaient en baisse.

Palladium – Commerce extérieur français

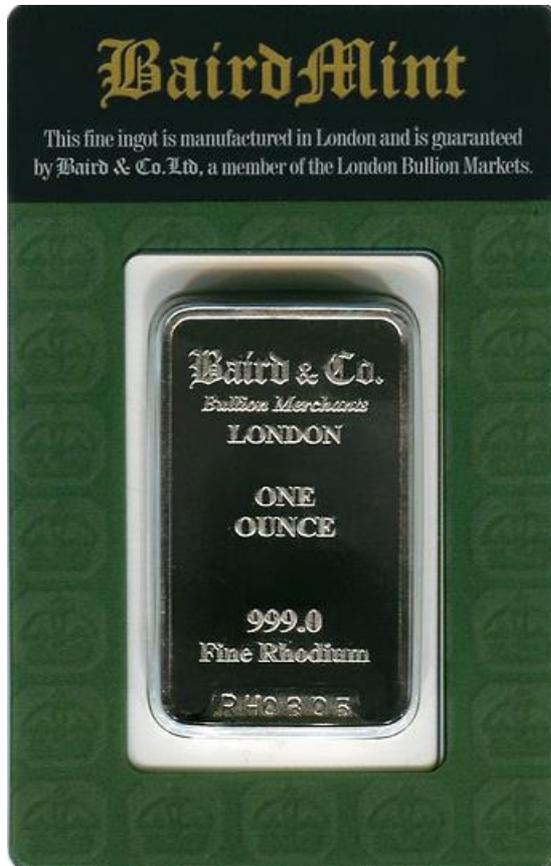
Statistiques françaises d'import-export de palladium

Données brutes de collecte, CAF-FAB hors matériel militaire. Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2011			2012			2013			Evolution 2012-2013		Principaux partenaires en 2013 (% des masses)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
Palladium brut, en poudre ou semi-ouvré (71102100, 71102900)												
Exportations	12 199 k€	1 026 kg	11.9 €/g	15 468 k€	2 097 kg	7.4 €/g	17 922 k€	2 274 kg	7.9 €/g	15.9%	8.4%	Allemagne 66 %, Italie 15%, Suisse 9.5%
Importations	38 102 k€	26 122 kg	1.5 €/g	31 148 k€	4 371 kg	7.1 €/g	37 436 k€	3 933 kg	9.5 €/g	20.2%	-10.0%	Suisse 58%, Italie 12%, Allemagne 11%
Solde	-25 903 k€	-25 096 kg		-15 680 k€	-2 275 kg		-19 514 k€	-1 659 kg		24.5%	-27.1%	
Déchets et débris de palladium ou contenant du palladium : Pas de nomenclature douanière correspondante												
Exportations	nd	nd		nd	nd		nd	nd				
Importations	nd	nd		nd	nd		nd	nd				
Solde												

- NB :**
1. Pd identifié dans seulement 2 nomenclatures douanières, Pd brut et Pd semi-ouvré. D'éventuels imports ou exports de déchets de Pd ou de catalyseurs contenant du Pd ne sont pas renseignés.
 2. Les prix unitaires calculés sont très variables selon les partenaires, de 2,5 à 28 €/g en 2013, pour un cours officiel du Pd de 17,5+/-0,7 €/g en 2013, ce qui laisse supposer que certaines masses échangées ne sont pas du Pd pur. Les bilans massiques sont donc peut-être biaisés.
 3. La France n'importe pas directement de Pd des principaux pays producteurs miniers (Russie, Afrique du Sud), seulement via des pays tiers raffineurs (Suisse, Allemagne, Italie) ou des États-Unis."

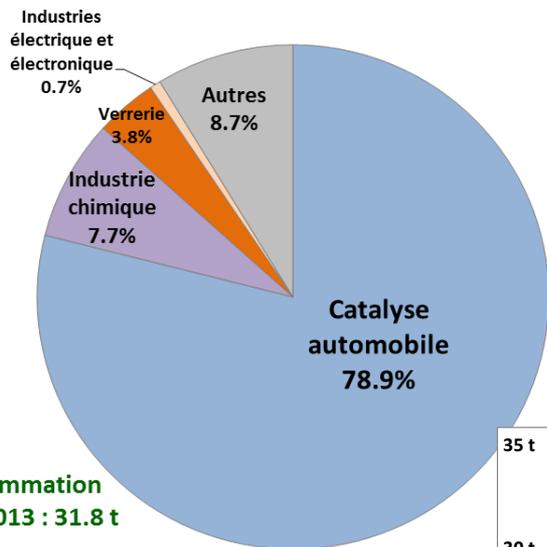
Le rhodium (Rh)



© www.kitco.com

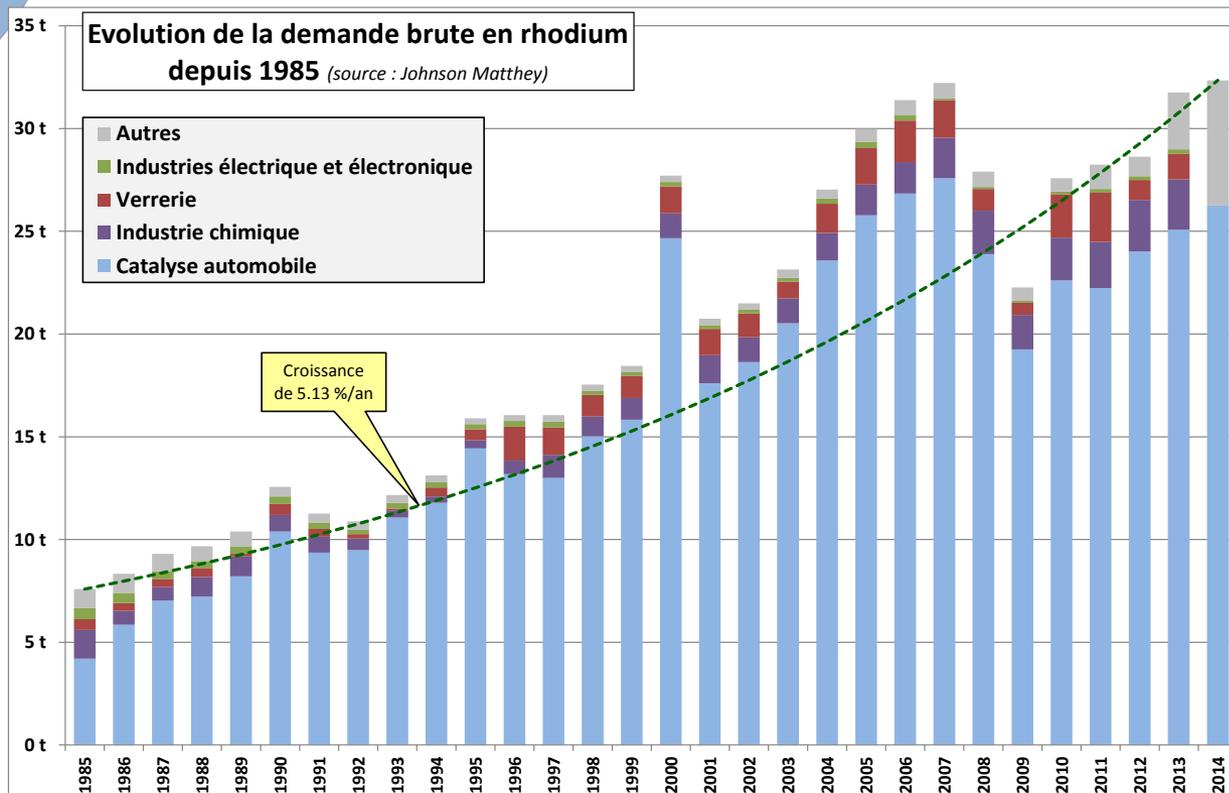
Usages mondiaux du rhodium en 2013

(source : Johnson Matthey, 2013-2014)



Consommation brute 2013 : 31.8 t

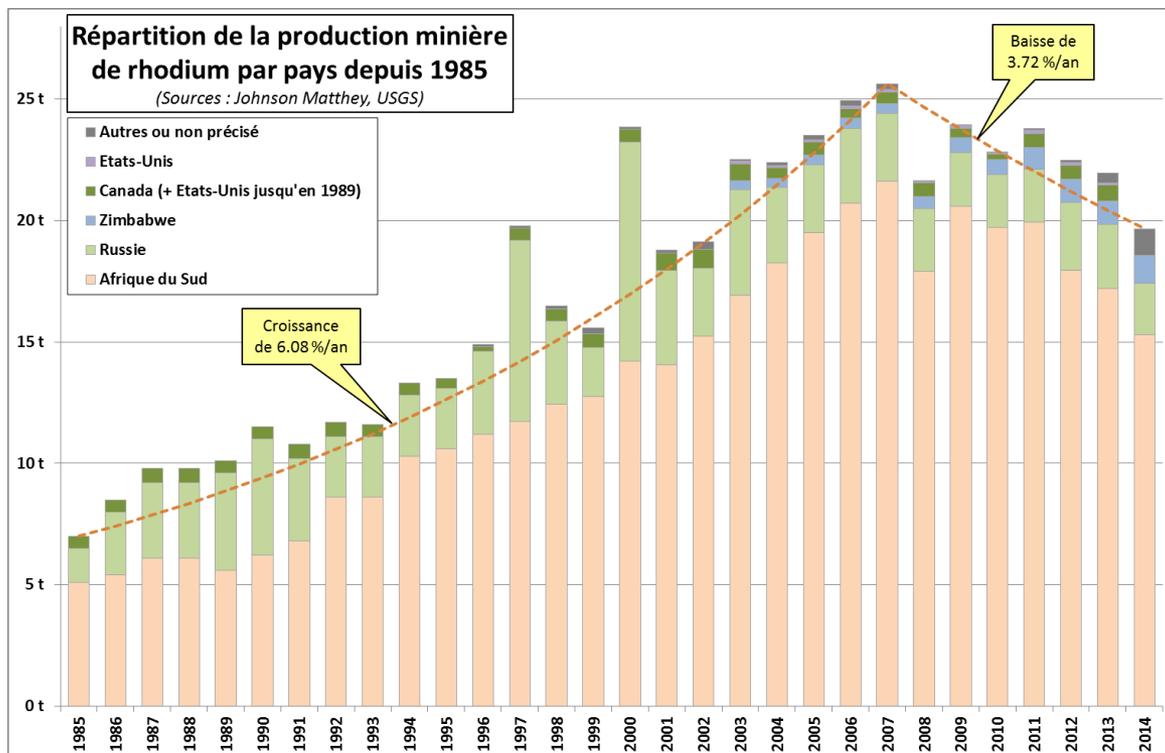
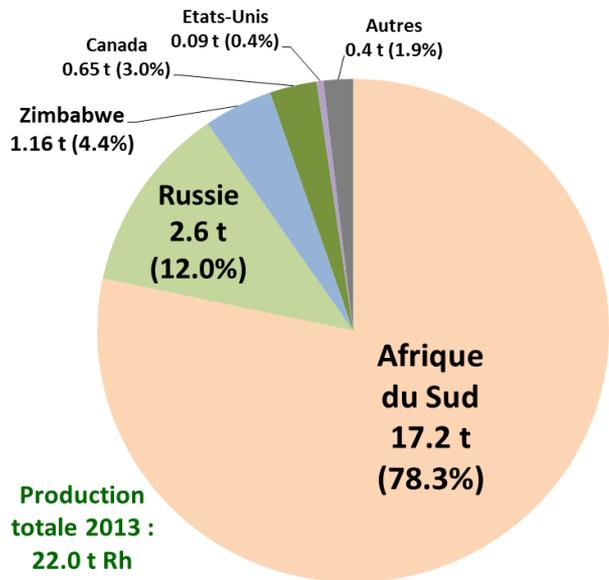
Rhodium – usages



Rhodium – production minière

Production minière de rhodium par pays en 2013

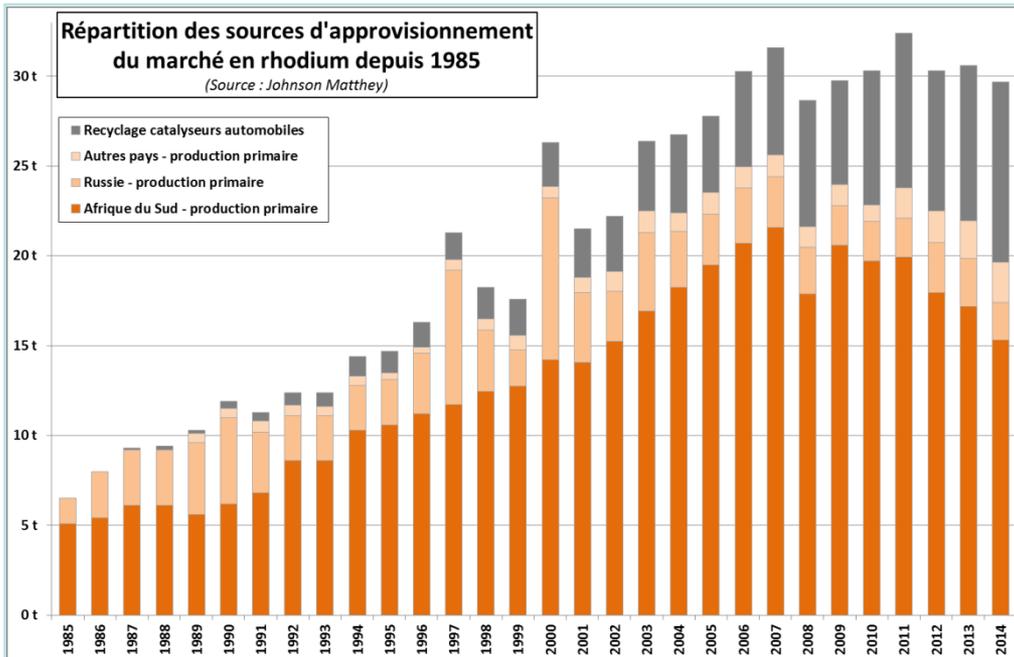
(sources : Johnson Matthey, Sociétés minières)



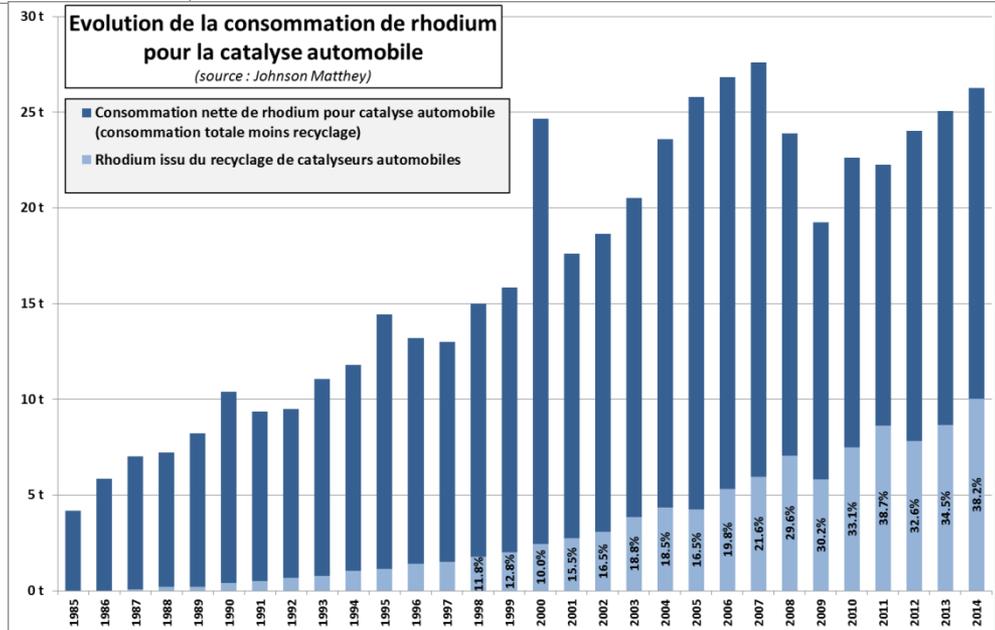
Rhodium - ressources et réserves

- Le rhodium étant un sous-produit mineur, il n'est pas toujours évalué dans les calculs de réserves et ressources, lesquelles ne sont que partiellement publiées. Seules les sociétés majeures exploitantes en Afrique du Sud et au Zimbabwe en publient. Mais Norilsk, en Russie, qui publie ses ressources et réserves en Ni, Cu, Pd et Pt, ne les publie pas pour Rh.
 - Réserves publiées : 583 t Rh, dont 541 en Afrique du Sud et 40 au Zimbabwe ;
 - Ressources publiées : 4 460 t Rh, dont 4 106 en Afrique du Sud, 350 au Zimbabwe, et 4 ailleurs ;
- Comme la répartition par pays de la production de rhodium est très proche de celle de platine, on peut faire l'hypothèse raisonnable qu'il en est de même pour les réserves et ressources. Ainsi la distribution des réserves et ressources en rhodium serait de l'ordre de :
 - Afrique du Sud : 80%
 - Zimbabwe : 8%
 - Russie : 8%
 - Autres (Canada, Etats-Unis, ...) : 4%
- On peut ainsi estimer, par extrapolation,
 - "Réserves" : environ **730 t Rh, soit l'équivalent de 33 ans de la production minière de 2013**, et
 - "Ressources" : environ **5 570 t Rh, soit l'équivalent de 250 ans de la production minière de 2013**.

Rhodium Recyclage

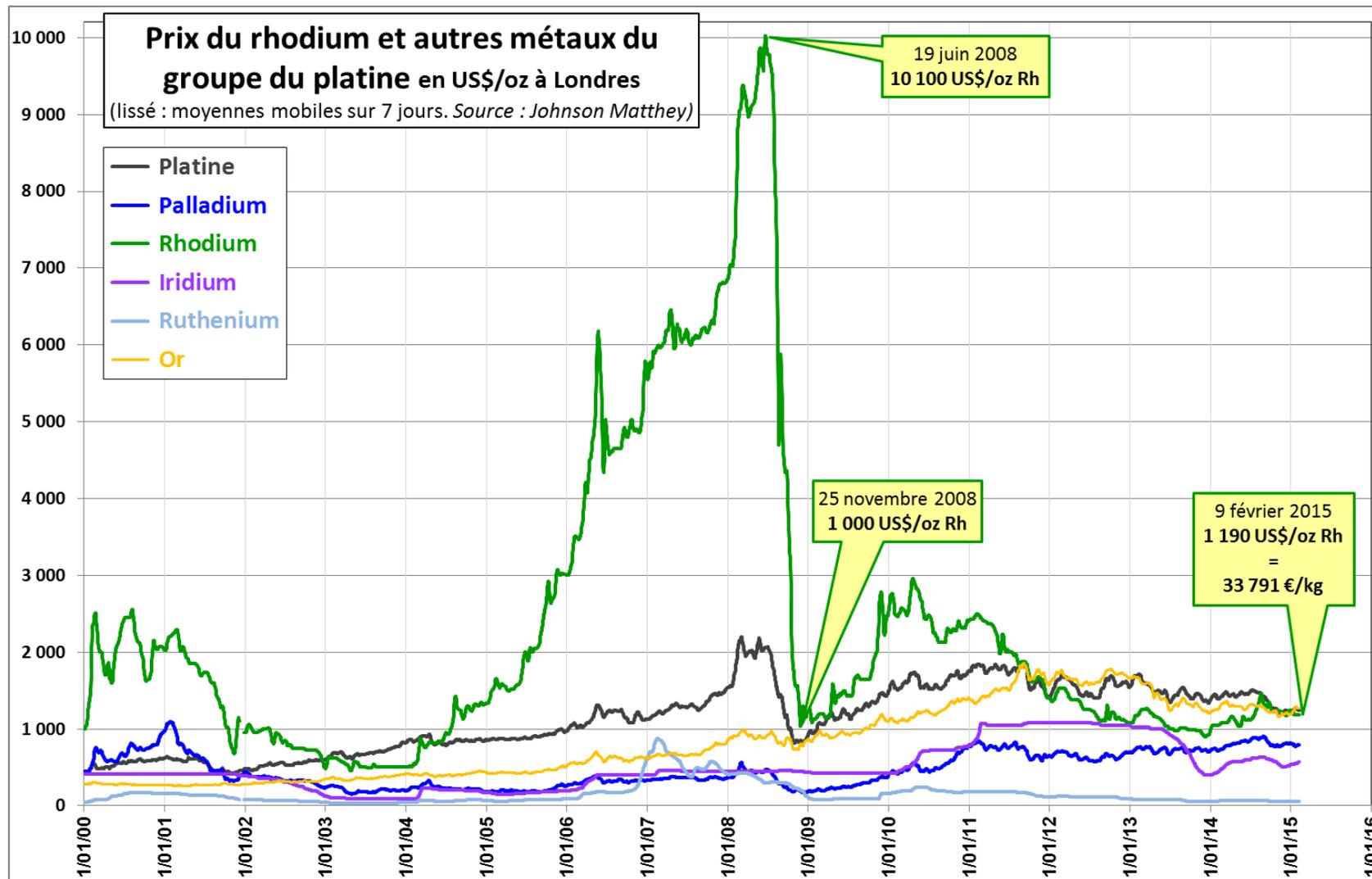


- Taux de recyclage en fin de vie : 50 à 60% (Graedel *et al.*, 2011) ;
- Contenu des approvisionnements en rhodium secondaire : 27% en 2013 (principalement issus des catalyseurs automobiles) ;
- Contribution du recyclage des catalyseurs automobile pour l'approvisionnement en Rh de la filière des catalyseurs automobiles : 34,5% (2013) ;
- Recyclage en croissance depuis la fin des années 1980.



Rhodium – prix

Le CME-Group (ex NYMEX, www.cme-group.com) de New-York cote quotidiennement le rhodium. Le métallurgiste et raffineur britannique Johnson Matthey publie des « prix de base » quotidien du platine, du palladium, du rhodium, de l'iridium et du ruthénium (www.platinum.matthey.com).



Rhodium – Commerce extérieur français

Statistiques françaises d'import-export de rhodium

Données brutes de collecte, CAF-FAB hors matériel militaire. Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2012			2013			2014			Évolution 2013-2014		Principaux partenaires en 2014 (% des masses)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
Rhodium brut, en poudre ou semi-ouvré (71103100, 71103900)												
Exportations	1 701 k€	80 kg	21.2 €/g	764 k€	123 kg	6.2 €/g	331 k€	16 kg	21.0 €/g	-56.7%	-87.2%	Allemagne 46 %, Luxembourg 27%
Importations	1 950 k€	69 kg	28.3 €/g	1 297 k€	77 kg	16.8 €/g	657 k€	22 kg	29.6 €/g	-49.3%	-71.2%	Belgique 36%, Etats-Unis 27%, Italie 24%
Solde	-249 k€	11 kg		-533 k€	46 kg		-326 k€	-6 kg				
Déchets et débris de rhodium ou contenant du rhodium												
Exportations	nd	nd		nd	nd		nd	nd				
Importations	nd	nd		nd	nd		nd	nd				
Solde												

- NB :**
1. Rh identifié dans seulement 2 nomenclatures douanières, Rh brut et Rh semi-ouvré. D'éventuels imports ou exports de déchets de Rh ou de catalyseurs contenant du Rh ne sont pas renseignés.
 2. Les prix unitaires calculés sont extrêmement variables selon les partenaires. En particulier, l'excédent commercial en masse en 2013 est essentiellement dû à une exportation de 84 kg pour 26 k€ aux Émirats Arabes Unis, soit un **prix unitaire de 0,31 €/g**. Ce prix est plus de 80 fois inférieur au cours du marché (**25,83 €/g** en moyenne sur l'année 2013). Il y a donc soit une erreur de saisie (quantité ou valeur), soit le matériau exporté n'était pas du "rhodium mi-ouvré" pur, mais contenait seulement un peu de rhodium, soit il y a eu déclaration non conforme à la vraie valeur.
 3. De même, la France a exporté en 2013 et en 2014 quelques kg de rhodium brut vers le Luxembourg pour une valeur de 2,4 €/g. Certaines masses échangées ne sont pas du Rh pur. Les bilans massiques sont donc peut-être biaisés.
 4. La France n'importe pas directement de Rh des principaux pays producteurs miniers (Afrique du Sud, Russie, Zimbabwe), seulement via des pays tiers raffineurs (Belgique, Italie) ou des États-Unis.

Le ruthénium (Ru)

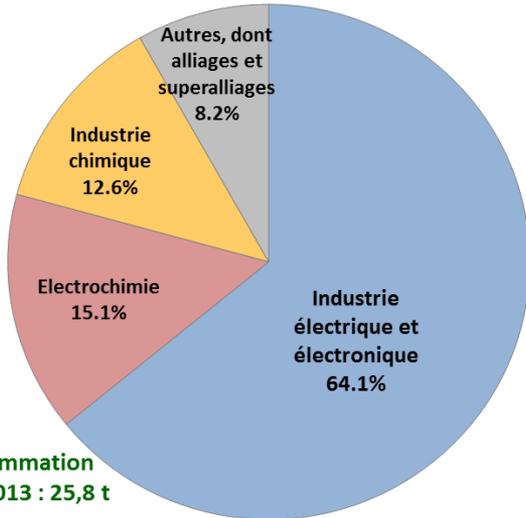


© www.titanscraprecycling.com/recycle-ruthenium-scrap/

Ruthénium – usages

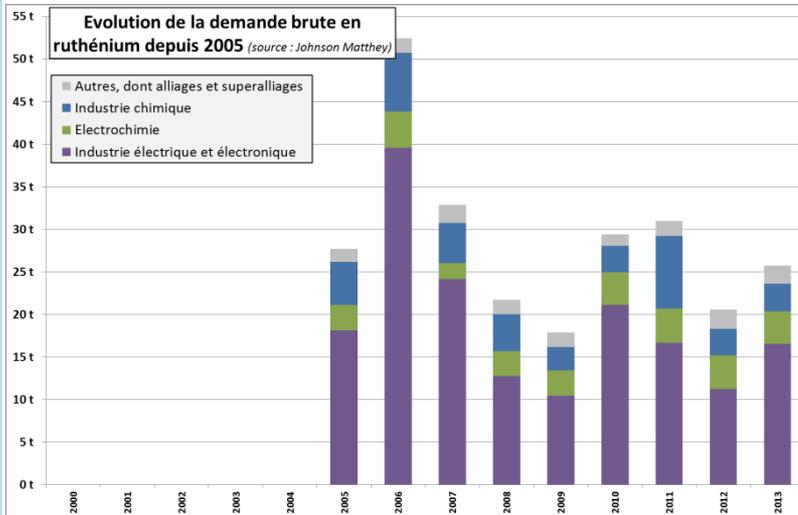
Répartition des usages mondiaux du ruthénium en 2013

(source : Johnson Matthey, 2014)



Consommation brute 2013 : 25,8 t

- Usage avec Pt ou en substitution de Pt pour la fabrication des disques durs récents, sous forme d'une couche de quelques nanomètres déposée par pulvérisation entre deux couches magnétiques, pour accroître la densité de stockage ("magnétorésistance géante").
- Usage en association avec l'iridium en revêtement des électrodes utilisées pour la production de chlore et de soude caustique, en substitution des anciennes électrodes au mercure.
- Usages en catalyse en synthèse organique et pour la désulfuration dans les raffineries de pétrole.
- Usage dans certains superalliages récents : certains superalliages à base de nickel utilisés pour les pales des turbines et des réacteurs en aéronautique peuvent désormais contenir 2 à 6 % Ru. Aussi dans certains alliages de titane.



Réf.	Ni	Cr	Co	Mo	Al	Ta	W	Hf	Re	Ru
TMS-138	63.7 %	3.2 %	5.8 %	2.8 %	5.9 %	5.6 %	5.9 %	0.1 %	5.0 %	2.0 %
TMS-162	59.2 %	2.9 %	5.8 %	3.9 %	5.8 %	5.6 %	5.8 %	0.1 %	4.9 %	6.0 %
UCSX-1	61.0 %	2.6 %	6.0 %	1.5 %	5.5 %	8.1 %	7.0 %	0.1 %	6.2 %	2.0 %
UCSX-8	60.8 %	1.5 %	6.0 %	3.0 %	5.7 %	8.0 %	6.0 %		6.0 %	3.0 %

Quelques superalliages de nickel contenant du ruthénium, pour turbines

Réf.	Ti	Al	V	Ru
ASTM Grade 28	94.4 %	3.0 %	2.5 %	0.1 %
ASTM Grade 29	89.9 %	6.0 %	4.0 %	0.1 %

Quelques alliages de titane contenant du ruthénium, pour tuyauterie-chaudronnerie en milieu acide

- Taux de recyclage du ruthénium en fin de vie estimé à 5 à 15% (Graedel et al., 2011)

L'iridium (Ir)



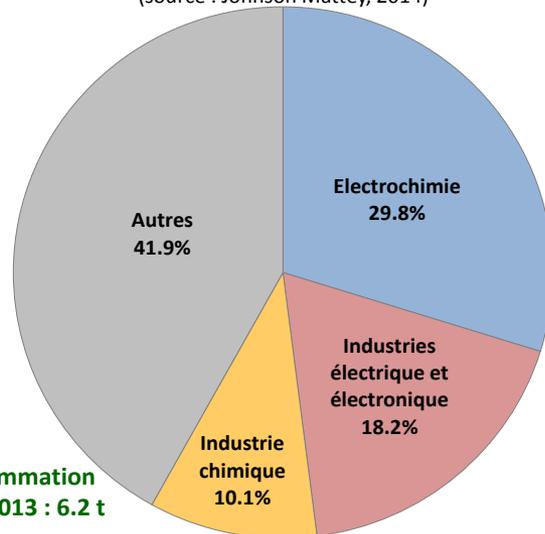
Le kilogramme-étalon, en alliage Pt 90% - Ir 10%,
conservé au Bureau International des Poids et
Mesures à Sèvres.

© www.sciencesetavenir.fr

Iridium – usages

Répartition des usages mondiaux de l'iridium en 2013

(source : Johnson Matthey, 2014)

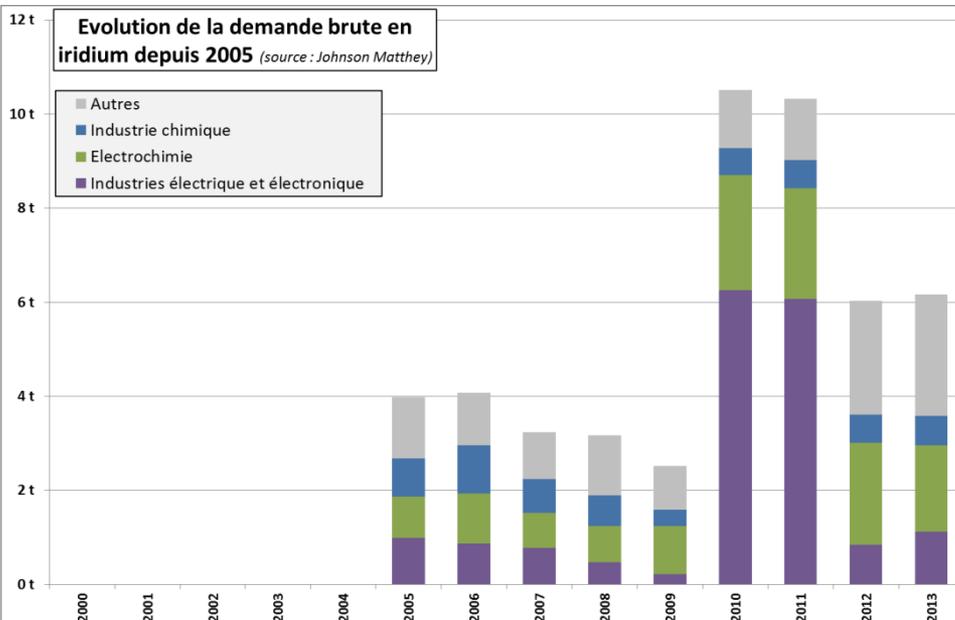


Consommation brute 2013 : 6.2 t

- Usage pour les creusets destinés à la production de galettes cristallines de saphir pour la fabrication de diodes électroluminescentes (LED). Sa demande avait connu des pics en 2010-2011 avec la mise en place des capacités de production de LED.
- Certains complexes organo-métalliques à iridium sont utilisés pour des diodes électroluminescentes organiques (OLED) utilisées en particulier dans les smartphones.
- Usage pour certains contacteurs et bougies d'allumage.
- Usage en association avec le ruthénium en revêtement des électrodes utilisées pour la production de chlore et de soude caustique, en substitution des anciennes électrodes au mercure.

- Taux de recyclage de l'iridium en fin de vie estimé à 20 à 30% (Graedel et al., 2011)

Evolution de la demande brute en iridium depuis 2005 (source : Johnson Matthey)



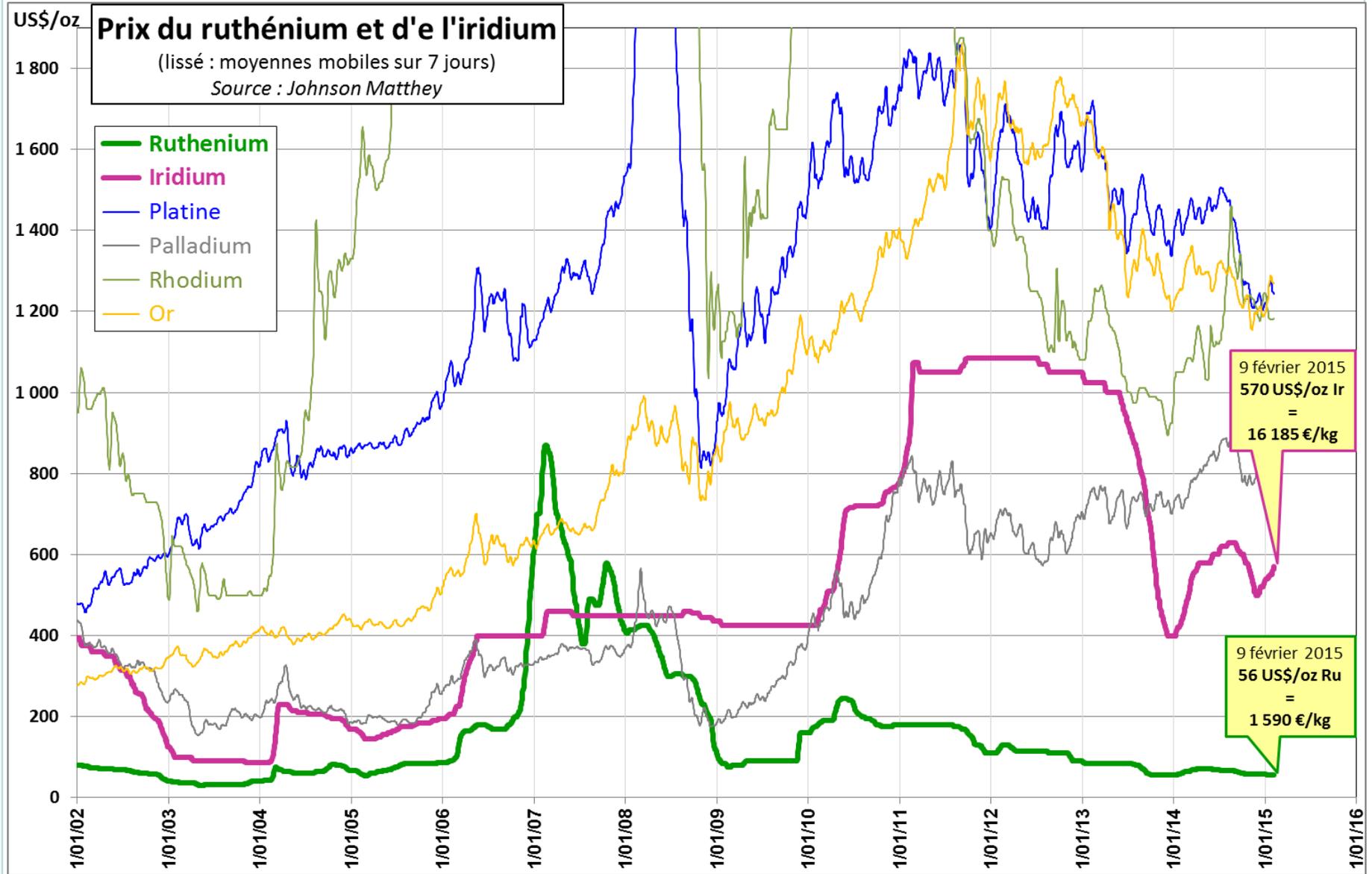
Ruthénium et iridium – ressources et réserves, production minière, recyclage

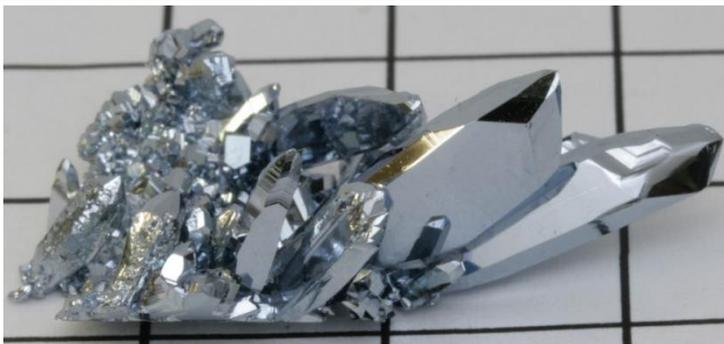
Les productions globales d'iridium et de ruthénium ne sont pas documentées. Au vu des consommations de ces métaux, en faisant l'hypothèse que les marchés sont +/- équilibrés (l'industrie consomme ce qui est disponible, il n'est pas fait mention de stocks importants, l'équilibrage se faisant par les prix), on peut estimer leur production annuelle à 20 à 30 t pour le ruthénium et 3 à 10 t pour l'iridium.

Il n'y a pas de publication de ressources ou réserves de Ru ni de Ir. Comme ce sont des sous-produits obligés de la production de Pt et Pd, et que ces derniers métaux ont des réserves équivalentes à +/- 30 ans de production au niveau actuel et des ressources équivalentes à + de 150 ans de production, les réserves et ressources en Ru et Ir sont probablement suffisantes pour des durées équivalentes à consommation constante.

La production minière reste dominée par l'Afrique du Sud, la Russie et le Zimbabwe.

Ruthénium et iridium – prix





Osmium cristallisé. © www.periodictable.ru

L'osmium (Os)

- Aucune statistique de production ou consommation disponible ;
- Usage extrêmement restreint, sa consommation totale serait inférieure à 1 t/an, ce qui en ferait le métal stable le moins consommé du tableau de Mendeleïev.
- C'est le plus dur des platinoïdes. Il est rarement utilisé seul, en raison de la toxicité de son oxyde OsO_4 , mais plutôt en alliage avec d'autres platinoïdes qu'il endure. De tels alliages sont utilisés pour des plumes de stylos, des pivots de boussoles, certains contacts électriques.
- Un alliage platine 90 % - osmium 10 % est utilisé pour réaliser divers implants comme des stimulateurs cardiaques ou des valvules cardiaques artificielles.
- OsO_4 a quelques applications catalytiques en chimie organique.
- Prix : non publié par Johnson Matthey. Mining Journal reporte de semaine en semaine un prix de 400 US\$/oz depuis des années sans mise à jour. Aujourd'hui, de l'osmium est en vente en petites quantités pour 15 à 20 US\$/g FOB Chine sur www.alibaba.com, soit 460 à 620 US\$/oz.

Ruthénium, iridium, osmium – Commerce extérieur français

Statistiques françaises d'import-export d'iridium, osmium et ruthénium

Données brutes de collecte, CAF-FAB hors matériel militaire. Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

	2012			2013			2014			Evolution 2013-2014		Principaux partenaires en 2014 (% des masses)
	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	Valeur	Masse	val.unit.	En valeur	En masse	
Iridium, osmium ou ruthénium bruts, en poudre ou semi-ouvrés (71104100, 71104900)												
Exportations	608 k€	70 kg	8.7 €/g	117 k€	17 kg	6.7 €/g	179 k€	12 kg	14.5 €/g	53.0%	-29.4%	Italie 65 %, Royaume-Uni 18%
Importations	1 307 k€	199 kg	6.6 €/g	1 276 k€	621 kg	2.1 €/g	724 k€	355 kg	2.0 €/g	-43.3%	-42.8%	Etats-Unis 52%, Royaume-Uni 41%
Solde	-699 k€	-129 kg		-1 159 k€	-604 kg		-545 k€	-343 kg		-53.0%	-43.2%	
Déchets et débris de ou contenant de l'iridium, de l'osmium ou du ruthénium												
Exportations	nd	nd		nd	nd		nd	nd				
Importations	nd	nd		nd	nd		nd	nd				
Solde												

- NB :**
1. Ir, Os et Ru sont confondus dans les mêmes nomenclatures douanières, au nombre de 2, "Ir, Os et Ru bruts" et "Ir, Os et Ru semi-ouvrés". D'éventuels imports ou exports de déchets en contenant ne sont pas renseignés.
 2. Les prix unitaires calculés sont extrêmement variables selon les partenaires. La France aurait ainsi importé d'Italie 225 kg de ces métaux bruts en 2013 pour 55 k€, soit un **prix unitaire de 0,24 €/g**, soit près de 8 fois moins que le cours du moins cher de ces 3 métaux (**1,8 €/g** Ru en moyenne sur l'année 2013). Il est possible que le matériau importé n'était pas du métal pur. Là encore, Les bilans massiques peuvent donc être biaisés.

Platinoïdes - Substituabilité

- > **Catalyse automobile** : efforts de recherche pour se passer des platinoïdes, très chers. Pas encore donné de résultats convaincants. EGP difficilement substituables. Efforts surtout pour en diminuer les quantités nécessaires. Ils peuvent néanmoins partiellement se substituer entre eux : Pd est actuellement préféré à Pt pour les pots catalytiques essence car moins cher. À l'inverse, on peut substituer jusqu'à environ 20 à 25 % du Pt par du Pd pour les pots catalytiques diesel. Pas de substitution efficace au Rh pour la dissociation des oxydes d'azote. Les constructeurs ajustent les proportions relatives en fonction des prix et des normes ;
- > **Catalyse industrielle** : Substitutions partielles possibles d'un platinoïde par un autre, mais avec perte d'efficacité, puisque les compositions retenues sont généralement celles qui sont optimales. Dans l'industrie chimique lourde (hors silicones), les catalyseurs ne sont pas « consommés » et, sauf usure, sont relativement durables. Le prix relatif de chaque élément est donc moins déterminant que l'optimisation de l'efficacité ;
- > **Alliages dentaires** : Substitutions possibles avec des métaux moins nobles (Cr-Co, etc.), l'or, ou des céramiques ;
- > **Verrerie** : on peut utiliser des filières en carbure de tungstène pour la production de la fibre de verre ;
- > **Piles à combustible** : Pas de substitution à Pt pour les piles à basse température. Piles à haute température à oxydes solides sans Pt, mais usages limités au stationnaire (non adapté aux installations mobiles pour les véhicules, avec les exigences de sécurité, d'encombrement et de masse associées) ;
- > **Joellerie** : Substituables, mais dépend du goût des consommateurs, de la mode, et ... du prix.

Platinoïdes – Récapitulatif sur le recyclage

Taux de recyclage des platinoïdes en fin de vie (d'après Graedel et al, PNUE, 2011)

	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir
Taux de recyclage à partir des catalyseurs automobiles	50 - 55%	50 - 55%	45 - 50%		
Taux de recyclage à partir de la joaillerie, des pièces et médailles	90 - 100%	90 - 100%	40 - 50%		
Taux de recyclage à partir des équipements électriques / électroniques en fin de vie	0 - 5%	5 - 10%	5 - 10%	0 - 5%	
Taux de recyclage à partir des applications dentaires	15 - 20 %	15 - 20 %			
Taux de recyclage à partir des applications industrielles	80 - 90%	80 - 90%	80 - 90%	40 - 50 %	40 - 50 %
Taux de recyclage à partir des applications autres (laboratoire, médical, sondes, etc.)	10 - 20%	15 - 20%	30 - 50%	0 - 5 %	5 - 10 %
Taux global de recyclage en "fin de vie"	60 - 70 %	60 - 70%	50 - 60%	5 - 15%	20 - 30%

Part du recyclage dans les approvisionnements en platine, palladium et rhodium

	Pt				Pd				Rh				Source
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	
Production primaire	188.2 t	201.7 t	176.5 t	181.1 t	197.7 t	204.7 t	196.4 t	200.4 t	22.8 t	23.8 t	22.5 t	22.0 t	Johnson Matthey
Déstockage russe					31.1 t	24.1 t	8.1 t	3.1 t					
Recyclage en fin de vie	56.9 t	64.1 t	63.5 t	64.5 t	57.5 t	74.2 t	71.2 t	76.5 t	7.5 t	8.6 t	7.8 t	8.6 t	
Approvisionnement total (offre)	245.1 t	265.8 t	239.9 t	245.6 t	286.3 t	303.0 t	275.7 t	280.0 t	30.3 t	32.4 t	30.3 t	30.6 t	
Consommation totale (demande)	245.9 t	251.8 t	249.8 t	261.9 t	302.8 t	266.2 t	310.1 t	299.5 t	27.6 t	28.2 t	29.7 t	31.8 t	
Déficit/surplus du marché (mouvements des stocks)	-0.8 t	14.0 t	-9.9 t	-16.3 t	-16.4 t	36.7 t	-34.4 t	-19.5 t	2.7 t	4.2 t	0.6 t	-1.2 t	
Taux de contribution du recyclage en fin de vie dans l'offre	23.2%	24.1%	26.4%	26.3%	20.1%	24.5%	25.8%	27.3%	24.7%	26.6%	25.8%	28.3%	(calcul à partir des lignes de tableau ci-dessus)
Taux de contribution du recyclage en fin de vie global dans la demande globale	23.1%	25.5%	25.4%	24.6%	19.0%	27.9%	23.0%	25.5%	27.2%	30.5%	26.4%	27.2%	
Taux de contribution du recyclage des pots catalytiques dans la demande pour la catalyse automobile	35.3%	38.9%	35.4%	40.8%	23.5%	27.5%	24.9%	26.7%	33.1%	38.7%	32.6%	34.5%	Johnson Matthey

Platinoïdes – Potentiel de recyclage en France

Estimation du potentiel de recyclage des platinoïdes en France, selon Monier et al., ADEME, 2010

(NB : A considérer comme des indicateurs approximatifs et non comme des données précises et fiables)

Type de déchet	Etat / forme du métal	Quantité et concentration en métal	Accessibilité du métal	Estimation du gisement annuel collectable en France	Estimation du gisement annuel collecté en France
Platine				5.0 à 5.4 t	1.5 t
Pots catalytiques	Métal	1,2 g/VHU	Très dispersé	1.9 à 2.3 t	1.3 t
Catalyseurs sur support d'alumi	Métal	0.2-0.3%	Dépôt en surface		
Catalyseurs en poudre	Métal	5%	Dépôt en surface	2.3 t	
Toiles métalliques	Alliage Pt-Rh	95%	Très bonne		
Cartes électroniques	Métal	0.0015% à 0,004% en masse*		0.8 t	0.2 t
<i>Téléphones portables</i>	<i>Métal</i>	<i>1.6 mg/unité</i>		<i>0.03 t</i>	<i>0.001 t</i>
<i>Ordinateurs</i>	<i>Métal</i>	<i>20 à 72 mg/unité*</i>		<i>0.4 t</i>	
Piles à combustible	Métal	0.2 g/kW	Dépôt en surface		
Palladium				5.5 t	1.3 t
Pots catalytiques	Métal	0.176 à 0.9 g/VHU* **	Dispersé	0.31 t	0.2 t
Cartes électroniques	Métal	0.008% à 0.02% en masse*	Très dispersé	3.8 t	1.1 t
<i>Téléphones portables</i>	<i>Métal</i>	<i>3 à 9 mg/unité*</i>	<i>Très dispersé</i>	<i>0.1 t</i>	<i>0.002 t</i>
<i>Ordinateurs</i>	<i>Métal</i>	<i>80 à 360 mg/unité*</i>	<i>Très dispersé</i>	<i>1.8 t</i>	
<i>Téléviseurs</i>	<i>Métal</i>	<i>11 mg/unité</i>	<i>Très dispersé</i>	<i>1.4 t</i>	
Prothèses dentaires	Alliages	35 à 80% en masse*	bonne	1.4 t	
Rhodium				0.42 à 0.52 t	0.3 t
Pots catalytiques	Métal	0.274 g/VHU* **	Très dispersé	0.42 à 0.52 t	0.3 t
Ruthénium				0.3 t	0.05 t
Cartes électroniques	Alliages Ru-(Pt/Pd)	9 g/t	Très dispersé	0.2 t	0.05 t
Disques durs	Alliages Ru-(Pt/Pd)	16 mg/unité	Très dispersé	0.1 t	
Iridium					
Catalyseurs	Alliages	100 à 3 000 ppm	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>	<i>n.d.</i>

* Le tableau publié par Monier et al. fournit l'un des deux chiffres de la fourchette, mais le texte précise que d'autres sources donnent l'autre chiffre.

** Les données constructeurs sont plutôt de 2 g de Pt-Pd, avec Pt>>Pd, pour les véhicules diesels, et 2 g Pt-Pd, avec Pd>>Pt, pour les véhicules essence. La quantité moyenne serait donc d'1 g Pt et 1 g Pd par VHU pour l'ensemble si on fait l'hypothèse du nombre relativement équivalent de véhicules essence et diesel en France. Pour le Rhodium, la quantité serait plutôt de 0,1 g par véhicule.

Stocks de platinoïdes

> Stockages stratégiques par les pays :

- > Les stocks gouvernementaux étatsuniens étaient de 261 kg Pt, 0 kg Pd et 15 kg Ir au 30/09/2014 (à peu près inchangés depuis une dizaine d'années, alors qu'ils étaient de 13,7 t Pt et 39,3 t Pd en 1995)
- > Les stocks russes de Pt et Pd, non publiés, seraient désormais très bas (240 t Pd écoulées entre 2005 et 2013) ;
- > Les EGP ne font pas partie des métaux stockés par le JOGMEC (Japon). Pas de publications d'éventuels stockages en Chine ou en Corée.

> Stockages industriels :

- > Les constructeurs automobiles, principaux consommateurs finaux d'EGP, avaient constitué des stocks. Niveaux non publiés. MJ évaluait en juillet 2012 la quantité de platine en stock chez les seuls constructeurs européens à une douzaine de t, soit environ 4 mois de leur consommation.

> ETFs :

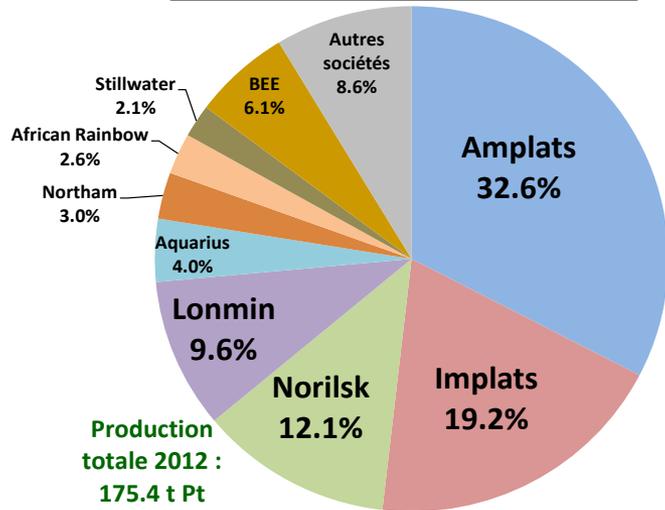
- > ETF sur Pt et Pd lancés à partir de 2007, et sur Rh à partir de 2011. Les quantités de métaux stockés par ces ETF étaient évaluées par Johnson & Matthey à fin 2012 à 52 t Pt ; 63,4 t Pd ; 1,58 t Rh ;
- > Nouvel ETF sud-africain, New Gold Platinum, lancé par Absa en avril 2013, détenait 32,48 t Pt le 13/02/2015.

Symbole	Nom	Date	Prix de la part	Nbre de parts	Capitalisation totale	Cours substance	Qté corresp. koz	Qté corresp. t
Platine								
PPLT	ETFS Physical Platinum Shares	13/02/2015	117.01 US\$	5.14 M	601.31 MUS\$	1 231 US\$/oz	488 koz	15.19 t
PTM	UBS E-TRACS CMCi Long Platinum Total Return ETN	13/02/2015	13.29 US\$	2.00 M	26.58 MUS\$	1 231 US\$/oz	22 koz	0.67 t
PGM	iPath DOW Jones-AIG Platinum Total Return Sub-Index ETN	13/02/2015	25.62 US\$	0.47 M	11.97 MUS\$	1 231 US\$/oz	10 koz	0.30 t
	New Plat ETF/ Absa Capital		140.34 ZAR		14 763 MZAR		1 044 koz	32.48 t
	DB Physical platinum ETC		117.61 US\$					
Palladium								
PALL	ETFS Physical Palladium Shares	13/02/2015	76.79 US\$	4.87 M	374.30 MUS\$	784 US\$/oz	477 koz	14.85 t
	DB Physical palladium ETC		76.97 US\$					
Rhodium								
	DB Physical rhodium ETC	16/02/2015	113.82 US\$	0.81 M	92.08 MUS\$	1 183 US\$/oz	78 koz	2.42 t

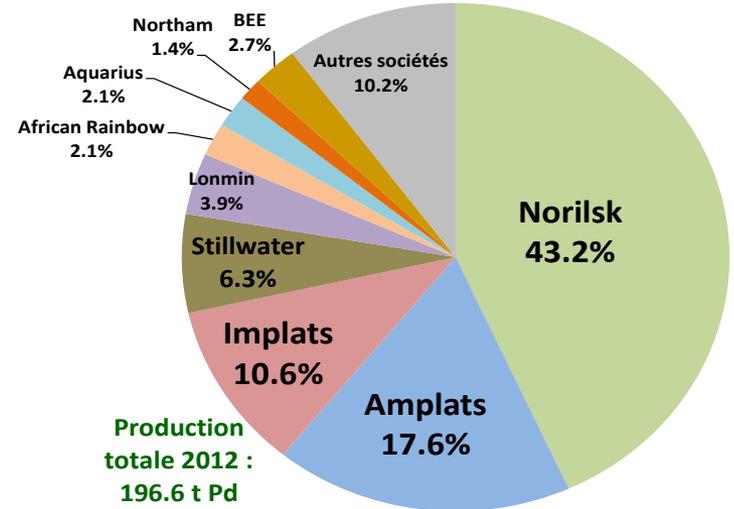
Les acteurs

Les producteurs miniers de platinoïdes

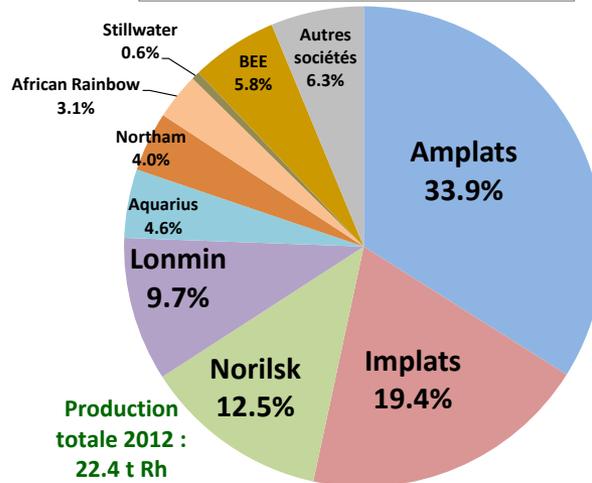
Répartition de la production minière de platine par société en 2012



Répartition de la production minière de palladium par société en 2012



Répartition de la production minière de rhodium par société en 2012



Les principaux fondeurs raffineurs

Les plus gros producteurs miniers de platinoïdes (**Amplats**, **Implats**, **Lonmin**, **Norilsk**) séparent et raffinent eux-mêmes tout ou partie de leur production. Les autres livrent des concentrés ou des mattes de platinoïdes à des métallurgistes-raffineurs spécialisés. Ces derniers sont souvent présents aussi dans le recyclage ainsi que la fabrication de composés, semi-produits, catalyseurs, et lingots de métaux purifiés :

- **Johnson Matthey** Plc, Royaume-Uni (filiales dans 20 pays dont la France) ;
- **Heraeus Precious Metals** GmbH & Co, Allemagne (autres Implantations en Suisse, États-Unis, Afrique du Sud, Chine et Inde) ;
- **BASF Catalysts** (anciennement **Engelhard**), États-Unis, division catalyseurs du groupe allemand BASF (implantations dans 15 pays) ;
- **Heimerle + Meule** GmbH, Allemagne. A absorbé en 2013 Cookson-CLAL, l'ancien Comptoir Lyon Alemand ;
- **Umicore**, Belgique. Leader mondial du recyclage des métaux précieux et l'un des principaux fabricants de catalyseurs automobiles. Implantations et de filiales dans 28 pays, dont 5 en France. Filiale Ögussa en Autriche. Capacité annuelle de production de 25 t/an Pt, 25 t/an Pd et 5 t/an Rh ;
- **Metalor Technologies International** SA, Suisse (implantations dans 14 autres pays, dont France) ;
- **Valcambi**, Suisse ;
- **Tanaka Kikinzoku** Group, Japon. L'un des plus importants recycleurs mondiaux d'EGP ;
- **Asahi Holdings**, Japon (Implantations en Chine, Taïwan, Corée du Sud, Malaisie) ;
- **Mitsui Global Precious Metals**, Japon, est la branche métaux précieux du conglomérat Mitsui & Co ;
- **Sabin Metal** Corp, États-Unis (implantations aux États-Unis, Canada, Mexique, Pays-Bas, Chine) ;
- **Evonik Industries AG**, Allemagne, intégrant son ancienne filiale **Degussa**. Plus d'EGP au catalogue ;
- Republic Metals Corp, États-Unis ;
- Handy & Harman Ltd, États-Unis ;
- etc.

Platinoïdes – acteurs français

- > **Producteurs miniers** : Aucun
- > **Fondeurs, transformateurs, fabricants de produits intermédiaires, recycleurs et négociants** : Pas de majors françaises. Surtout des petites sociétés ou des filiales de groupes étrangers.
 - > **Eurecat** (07-La Voulte-sur-Rhône, www.eurecat.fr) régénère ou recycle des catalyseurs industriels, dont catalyseurs au Pt ou Pd ;
 - > **Cookson-CLAL** (Paris, www.cookson-clal.com), recycleur-fondeur de métaux précieux. Récupère des métaux provenant des rebuts de joaillerie et de prothèses dentaires. Apprête des métaux pour la joaillerie, les composants électriques et électroniques, la chimie, les alliages dentaires. EGP minoritaires ;
 - > **Morphosis** (76-Le Havre, www.morphosis.fr) recycle des DEEE pour en extraire les métaux contenus, dont des métaux précieux (Au, Ag, Pt, Pd, Rh) ;
 - > **Metalor Technologies (France) SAS** (28-Courville-sur-Eure et 69-Oullins, www.metalor.com), filiale du suisse Metalor, spécialisé dans la métallurgie et le raffinage des métaux précieux, qui produit des lingots et barres de métaux précieux pour la joaillerie, la dentisterie, l'électronique, et le placage ;
 - > **Johnson Matthey France** (93-Tremblay-en-France, www.noble.matthey.com), filiale du britannique Johnson Matthey, l'un des principaux raffineurs d'EGP et producteur de catalyseurs ;
 - > **Axens** (92-Rueil-Malmaison, <http://france.axens.net/fr/>), fournisseur de catalyseurs au platine pour les industries chimique et pétrolière ;
 - > **Praxair MRC SAS** (31 Toulouse, www.praxair.fr) confectionne des cibles de pulvérisation (« sputtering targets ») de platine pur et d'alliage de nickel à 15 % de platine pour les industries des semi-conducteurs ;
 - > **Fransor Industries** (92-Colombes, www.fransor-industries.fr) prépare des alliages dentaires et divers alliages industriels pour l'électronique ;
 - > **Aerometal** (71-Gergy, www.aerometal.com) recycle divers métaux, marginalement des EGP ;
 - > **Umicore Autocat France SAS** (57-Florange, www.umicore.fr), filiale du belge Umicore qui récupère et raffine nombre de métaux dont les EGP. Produit des catalyseurs automobiles et autres catalyseurs.

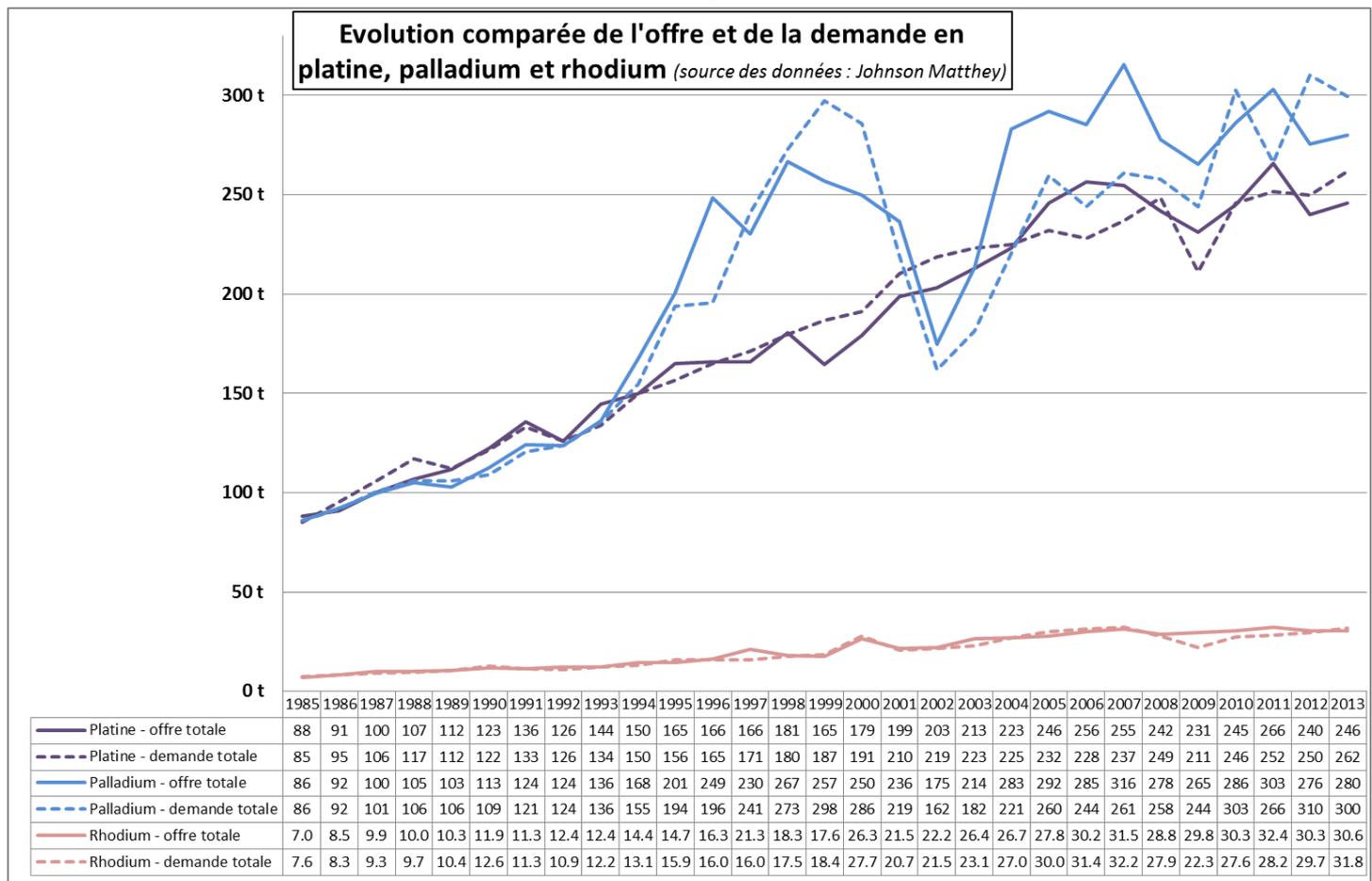
Platinoïdes – acteurs français

> Utilisateurs finaux :

- > **Constructeurs et équipementiers automobiles** : Renault, PSA, Renault-Trucks, Smart, Toyota, Faurecia, ...
- > **Industrie pétrolière (raffinage et pétrochimie)** : Total, Esso SAF, SARA, ... ;
- > **Industrie chimique (catalyse, silicones)** : Solvay/Rhodia, BluestarSilicones, De Dietrich, ... ;
- > **Pile à combustible** : Air Liquide / Axane ;
- > **Secteurs pharmaceutique et médical** : Sanofi, Integra Neurosciences Implants, Biomérieux, ... ;
- > **Industries électrique et électronique** : ST-Microelectronics, Pyrocontrôle, ... ;
- > **Bijoutiers-joaillers-horlogers** ;
- > **Prothésistes dentaires** ;
- > **Construction aéronautiques, spatiales, défense** : consommateurs et consommation de platinoïdes restant à documenter / chiffrer (revêtements de protection Al-Pt, condensateurs céramique haute fiabilité au palladium, superalliages au ruthénium, etc.). Cela étant, les quantités indispensables à ces secteurs sont minimales par rapport au marché global.

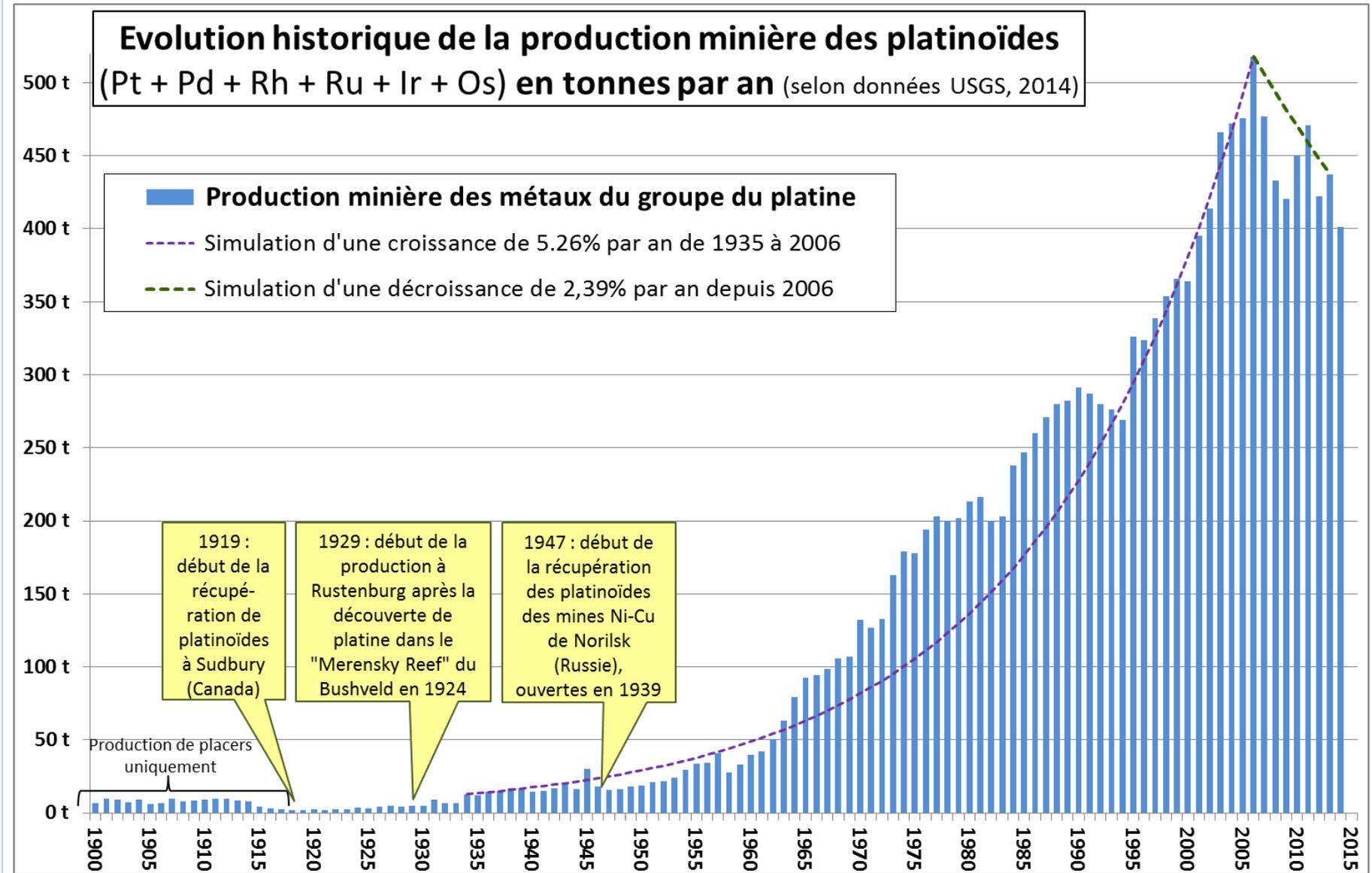
Perspectives d'évolution du marché des platinoïdes

EGP – évolution de l'équilibre offre-demande



- A quelques exceptions près, les écarts relatifs entre offre et demande sont <10%. Or les données de productions comme de consommation sont souvent imprécises à +/- 10%. Le sens des écarts n'est donc pas toujours certifiable. L'offre en Pt et Pd apparait déficitaire depuis 2012 (et encore en 2014), mais les prix du platine se sont quand même paradoxalement affaiblis. La compensation offre-demande se fait en effet par des variations de stocks, chez les producteurs, les négociants ou les utilisateurs. Les stocks dus aux excédents des années précédente sont en voie de résorption.

EGP – évolution historique de la production minière



Perspectives d'évolution de l'offre : Afrique du Sud

- Production sud-africaine très affectée en 2012 et 2014 par des grèves. Certains opérateurs cherchent désormais à céder leurs mines. Seules les grosses mines à ciel ouvert (type Mogalakwena), demandant moins de main d'œuvre, restent bien rentables. Les autres, celles qui exploitent à grande profondeur les niveaux étroits du Merensky reef et de l'UG2 reef, demandant beaucoup de main d'œuvre, laquelle est de plus en plus exigeante sur la rémunération compte tenu des conditions de travail difficiles, ne pourront rester rentable qu'avec des prix des platinoïdes élevés. Les sociétés opérant en Afrique du Sud ont limité leurs investissements pour développer de nouvelles réserves. De plus, Des prix insuffisants conduiront à une mise en sommeil de plusieurs exploitations.

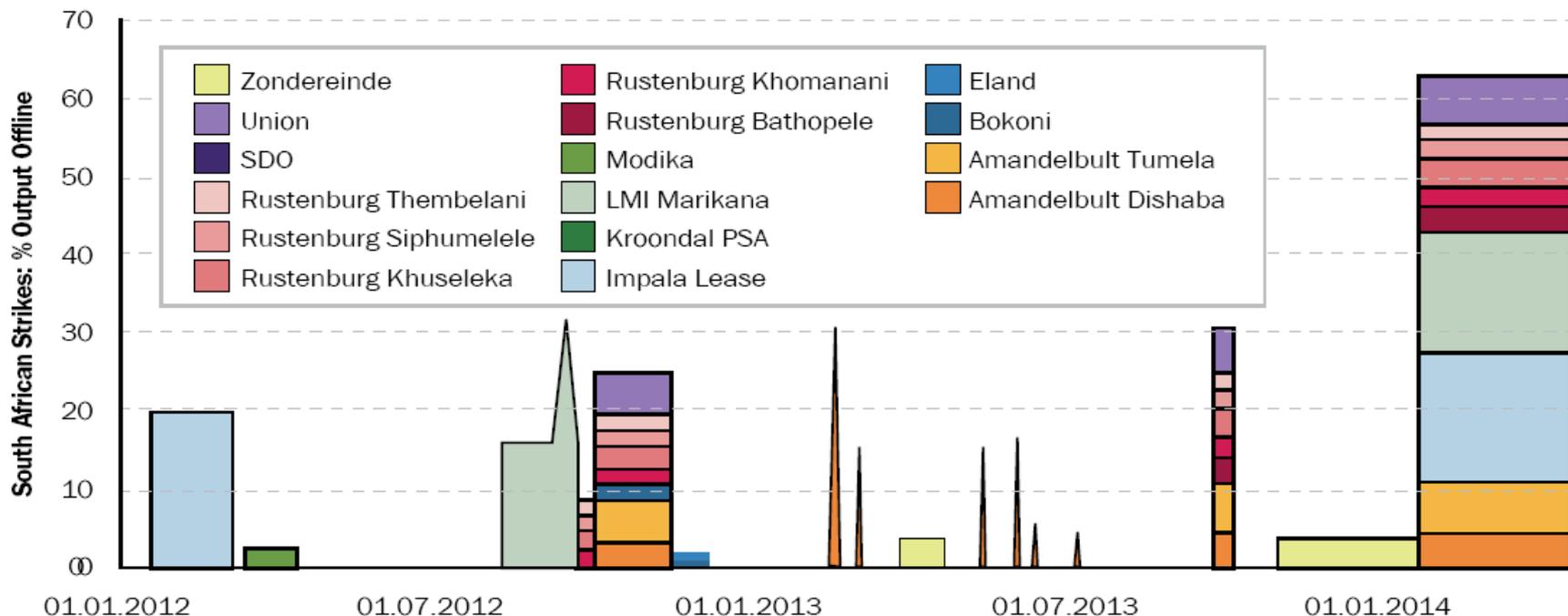
Société contrôlante	Mine (ou groupe de mines)	Type d'explo- tation	Prod. Pt 2012	Prod. Pd 2012	Nombre total d'employés (directs + ss-traitants)	Nombre d'employés par t de platine produit	Nombre d' employés par t de platine- équivalent*
Afrique du Sud							
Amplats	Amandelbult (2 mines)	Souterrain	11.51 t	5.35 t	14 016	1 217	988
	Mogalakwena	Ciel Ouvert	9.48 t	10.18 t	2 119	224	145
	Rustenburg (5 mines)	Souterrain	16.23 t	8.22 t	22 068	1 360	1 085
	Union (N & S)	Souterrain	6.63 t	2.95 t	7 680	1 159	948
Amplats / Aquarius	Kroondal	Souterrain	6.95 t	3.54 t	5 371	773	616
Royal Bafokeng	Bakofeng-Rasimone	Souterrain	5.43 t	2.24 t	6 057	1 115	924
Lonmin	Marikana	Souterrain	20.11 t	9.19 t	24 000	1 194	972
Implats	Impala	Souterrain	23.33 t	12.71 t	48 307	2 071	1 627
	Marula	Souterrain	2.15 t	2.21 t	3 708	1 725	1 139
Northam	Zondereinde	Souterrain	5.21 t	2.78 t	9 163	1 760	1 389
Zimbabwe							
Implats	Zimplats / Makwiro	Souterrain	5.82 t	4.64 t	9 203	1 581	1 131
Implats / Aquarius	Mimosa	Souterrain	3.30 t	2.56 t	1 771	537	387
Amplats	Unki	Souterrain	2.01 t	1.38 t	1 150	572	426

- Les ressources et réserves connues sont suffisantes pour maintenir à moyen terme une certaine croissance de la production.
- Mais les investissements n'ont pas été suffisants ces dernières années pour permettre un accroissement significatif de la production. Si les prix repartent à la hausse, il faudra plusieurs années pour que de nouveaux investissements conduisent à de nouvelles productions.

* Compté ici arbitrairement, à titre indicatif, comme le tonnage de platine + 50% du tinnage de palladium, puisque le prix du palladium est de l'ordre de la moitié de celui du platine

Les grèves dans les mines de platine en Afrique du Sud en 2012-2014 et leurs impacts

South African Strike Activity 2012-2014

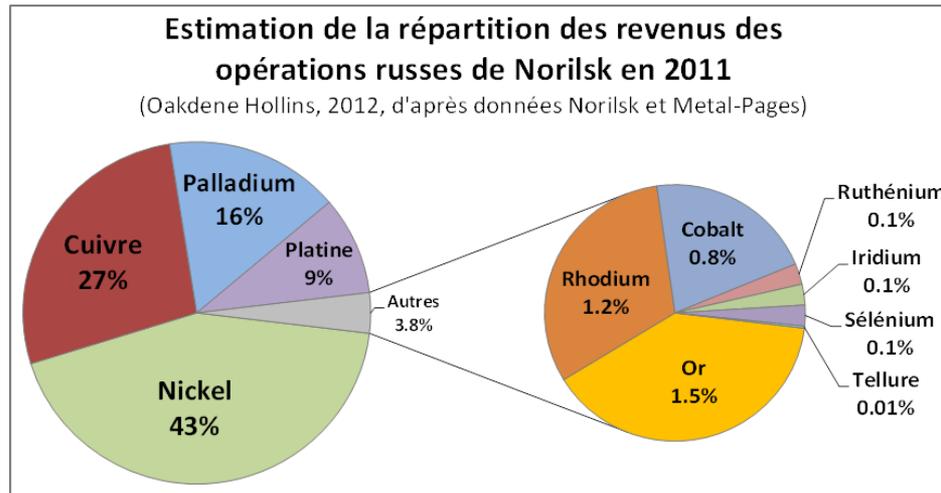


Source : GFMS, Thomson Reuters

© Thomson Reuters / GFMS (<https://forms.thomsonreuters.com/gfms/>),
diagramme publié sur www.lbma.org.uk/assets/blog/alchemy_articles/Alch74Tankard.pdf

Perspectives d'évolution de l'offre : Russie

- Le niveau de production de palladium de Norilsk est surtout piloté par la production de nickel, elle-même soumise au prix de ce dernier. Une forte poussée du prix du palladium (et du platine) pourrait cependant déplacer les facteurs déterminants.



- Nouveau projet minier de Maslovskoye / Norilsk prévu pour 2022 (+ 11 t/an Pt et 28 t/an Pd)
- Du temps de l'URSS et de l'économie planifiée non guidée par le marché, Norilsk avait produit davantage de palladium que ce que le marché absorbait. Ce palladium était conservé en stock stratégique. A partir de 1993, la Russie a commencé à écouler ce stock petit à petit, ce qui a contribué à l'approvisionnement primaire. La Russie a ainsi encore alimenté le marché par quelques dizaines de t de Pd par an entre 2004 et 2011. Ces quantités auraient diminué à 8 t en 2012 et 3 t en 2013. Le niveau du stock est considéré comme un secret d'État, mais les analystes soupçonnent qu'il arrive à épuisement.
- L'évolution de la crise ukrainienne et des sanctions économiques et mesures de rétorsion entre l'Occident et la Russie pourraient affecter l'approvisionnement en palladium.
- Ces facteurs ont probablement contribué au maintien du prix du palladium à un niveau assez ferme en 2014

Perspectives d'évolution de l'offre : Autres pays

- > En dehors de l'Afrique du Sud, de la Russie et du Zimbabwe – lequel devrait pouvoir maintenir son niveau de production, mais demeure un pays "à risque", il y a quelques nouveaux projets dans le monde.
- > Parmi les nouveaux projets prometteurs et réalistes (pour autant que les prix en encouragent le développement), les projets de Duluth aux États-Unis, les nouveaux projets canadiens, australiens ou finlandais, ne prévoient au mieux des capacités de production de quelques tonnes de platine et/ou de palladium par an. Seul le projet Eagle, au Michigan, a démarré en septembre 2014, mais sa production sera au mieux de quelques centaines de kg d'EGP par an.
- > Aucun de ces projets n'est susceptible de rivaliser, en importance, avec ceux du Bushveld d'Afrique du Sud ou de Norilsk-Talnakh en Russie, et serait donc capable de prendre un relais rapide en cas de défaillance de l'un ou l'autre de ces gisements géants.
- > Globalement, la possibilité d'accroître raisonnablement la production de platine existe, en particulier grâce au Bushveld, à condition que les prix s'affermissent, et après un certain délai. Compter sur un approvisionnement à la fois abondant et bon marché en platine est illusoire.

Perspectives d'évolution de la demande

- Demande en Pt, Pd et Rh largement dominée par le secteur de la catalyse automobile, déterminant pour en anticiper l'évolution.
- La demande pour la catalyse automobile devrait rester globalement orientée à la hausse au moins dans les 10 prochaines années, en raison de la poursuite de la croissance du marché automobile mondial, toujours tiré par certains pays (Chine en tête), et de la généralisation de normes antipollution de plus en plus strictes. Ceci devrait se traduire par une poursuite des hausses des demandes correspondantes en Pd et Rh, mais moins en Pt, en raison d'une baisse probable de la part de marché du diesel dans les véhicules légers en Europe, où leur promotion passée a fait place à des pressions de dissuasion. *(Mais un éventuel nouveau déséquilibre du marché du palladium, comme en 1997-2000, qui conduirait à une forte hausse de son prix comparé à celui du platine, pourrait refaire basculer une partie de la demande vers le platine).*
- Pour les autres usages industriels (catalyses chimiques et pétrolières, industries électriques et électroniques, verrerie), les analystes s'attendent à des demandes en Pt, Pd et Rh plutôt stabilisées. Il en est de même pour les usages dentaires du palladium.
- Pour les usages médicaux du platine, le niveau de consommation ne devrait évoluer que modérément, avec peu d'impact sur la demande globale vu sa faible part de marché.
- La prévision de l'évolution de la demande en joaillerie est aléatoire. Johnson Matthey s'attend à une relative stabilité de la demande, mais elle pourra être assez dépendante des prix, et pourra donc servir en partie de "variable d'ajustement" à l'équilibre du marché.

Perspectives d'évolution de la demande

- > Les prévisions d'évolution de la demande dans le **secteur des placements** (ETFs, lingots et pièces) sont très aléatoires, vu son caractère relativement spéculatif. Ce secteur peut jouer un rôle partiel de variable d'ajustement du marché en fonction de l'offre et de la demande industrielle, mais dans un sens comme dans l'autre : un déficit de l'offre conduirait à une hausse des prix, qui pourrait conduire les investisseurs à réaliser leurs bénéfices et vendre, ou au contraire à conserver leur placement en spéculant sur une poursuite de la hausse, jusqu'à l'éclatement probable de la bulle.
Par ailleurs, les quantités stockées, qui représentent 3 à 6 % de la demande, ne correspondent guère qu'à une ou deux années d'augmentation probable de la demande industrielle : ces quantités pourraient donc matériellement lisser un déficit temporaire du marché, mais seront insuffisantes pour en soutenir des croissances durables.
- > Les **taux de pénétration des innovations technologiques** pourront avoir un impact fort, à échéance de 10 à 20 ans, sur les demandes : un taux de pénétration de la voiture électrique sur batterie (lithium-ion ou autres) important se traduirait par une baisse associée de la construction de véhicules thermiques et de la demande en platinoïdes pour la catalyse des gaz d'échappements. Inversement, un début de pénétration de la voiture électrique à pile à combustible devrait conduire à une hausse de la demande en platine. Les voitures électriques sur batteries restent pénalisées, aux yeux de l'utilisateur, par une faible autonomie et un temps de recharge important, inconvénients évités par la pile à combustible, laquelle pourrait, à échéance de 10 à 20 ans, devenir une alternative crédible. Dans ce cas, la demande en platine devrait connaître une forte hausse, et cette filière deviendrait la première consommatrice de platine.
- > Les développements erratiques de la **crise économique mondiale** récente compliquent les prévisions.

Platine – criticité

RISQUES PESANT SUR LES APPROVISIONNEMENTS EN PLATINE					IMPACTS ÉCONOMIQUES EN CAS DE TENSIONS SUR LES APPROVISIONNEMENTS
Quantités et concentration géographique des ressources et réserves	Concentration des exploitations minières	Restrictions au libre commerce de la matière première	Existence de problèmes environnementaux spécifiques à la filière	Concentration de la métallurgie et des raffineries	Criticité économique de la filière
5	5	4	2	2	4,2
<p>Les réserves globales répertoriées à ce jour correspondent à 44 ans de consommation primaire au rythme de 181 t/an, les ressources à 235 ans.</p> <p>L'Afrique du Sud abrite près de 80 % des ressources mondiales.</p> <p>Tous les autres gisements sont secondaires par rapport au Bushveld d'Afrique du Sud, dont il n'est connu aucun équivalent.</p>	<p>Avec 72 % de la production minière mondiale en 2013, l'Afrique du Sud domine de loin l'offre en platine primaire, suivie de la Russie qui en contrôle 13 %.</p>	<p>Les pays producteurs majeurs, Afrique du Sud et Russie, sont classés à risque moyen à médiocre dans les classifications des risques pays (Coface, OCDE, Fraser Institute)</p> <p>La production de platine d'Afrique du Sud a été fortement affectée en 2012 par des grèves.</p> <p>La situation reste fragile et sensible, et des ruptures de production restent à craindre.</p>	<p>Le platine et la plupart de ses composés ne sont pas particulièrement toxiques.</p> <p>Les problèmes environnementaux des exploitations sont essentiellement les impacts sur les paysages inhérents à toute exploitation du sous-sol.</p>	<p>Les unités métallurgiques sont relativement bien distribuées (Afrique du Sud et Russie, mais aussi Europe (Allemagne, Royaume-Uni), Japon, Amérique du Nord, etc.</p>	<p>Platine difficilement substituable pour les catalyseurs des véhicules diesel, majoritaire pour les poids lourds et les engins agricoles ou de chantier, et encore majoritaires pour les véhicules légers en France et dans une partie de l'Europe.</p> <p>Difficilement substituable pour les piles à combustibles, appelées à un développement à moyen terme.</p> <p>Non substituable dans certaines de ses applications en catalyse industrielle et dans le secteur médical.</p> <p>Substituable en revanche dans la joaillerie, les placements, et dans une certaine mesure la verrerie.</p>

Palladium – criticité

RISQUES PESANT SUR LES APPROVISIONNEMENTS EN PALLADIUM					IMPACTS ÉCONOMIQUES EN CAS DE TENSIONS SUR LES APPROVISIONNEMENTS
Quantités et concentration géographique des ressources et réserves	Concentration des exploitations minières	Restrictions au libre commerce de la matière première	Existence de problèmes environnementaux spécifiques à la filière	Concentration de la métallurgie et des raffineries	Criticité économique de la filière
5	5	4	2	2	4,2 (cf. texte en 8.1.2)
<p>Les réserves globales répertoriées à ce jour correspondent à 30 ans de consommation primaire au rythme de 200 kt/an, les ressources à 191 ans.</p> <p>L'Afrique du Sud abrite près de 59 % des ressources mondiales et la Russie 25%.</p>	<p>Avec 40 % et 38 % de la production minière mondiale en 2013 respectivement, la Russie et l'Afrique du Sud dominant de loin l'offre en palladium primaire.</p>	<p>Les pays producteurs majeurs, Russie et Afrique du Sud, sont classés à risque moyen à médiocre dans les classifications des risques pays</p> <p>La production sud-africaine a été affectée en 2012 par des grèves et la situation sociale reste fragile.</p> <p>Le palladium pourra être touché par les embargos entre la Russie et l'UE consécutifs à la crise ukrainienne.</p>	<p>Le palladium et la plupart de ses composés ne sont pas particulièrement toxiques.</p> <p>Les problèmes environnementaux des exploitations sont essentiellement les impacts sur les paysages inhérents à toute exploitation du sous-sol.</p>	<p>Les unités métallurgiques sont relativement bien distribuées (Russie et Afrique du Sud mais aussi Europe (Allemagne, Royaume-Uni), Japon, Amérique du Nord, etc.</p>	<p>Palladium substituable éventuellement par le platine pour les catalyseurs automobiles et certaines catalyses industrielles, mais le platine est tout aussi critique.</p> <p>Difficilement substituable dans les applications électriques demandant un haut niveau de fiabilité (aéronautique et défense)</p> <p>Substituable en revanche dans la joaillerie et les placements.</p>

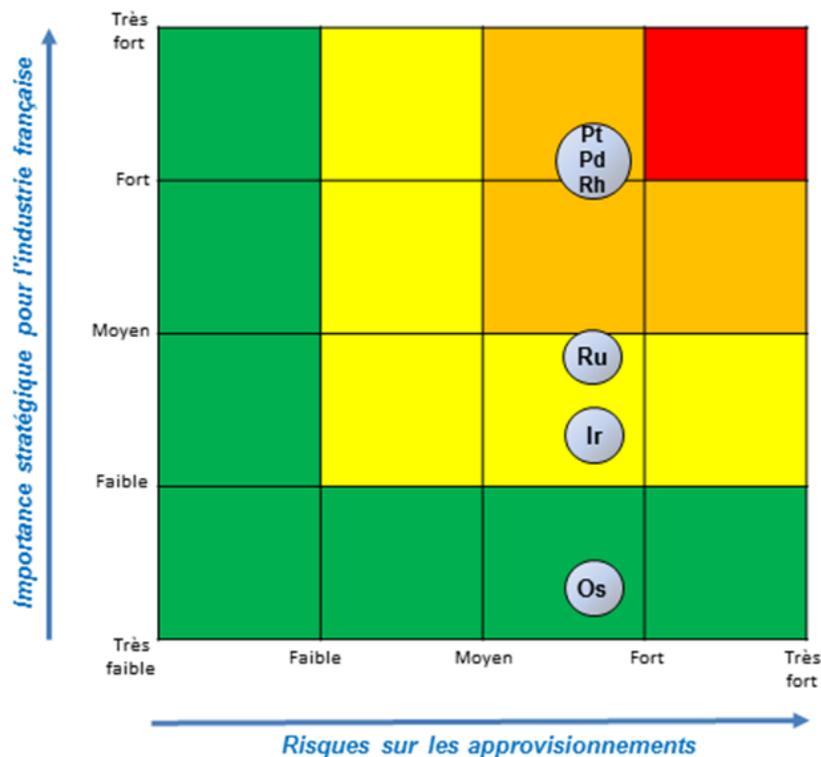
Rhodium – criticité

RISQUES PESANT SUR LES APPROVISIONNEMENTS EN RHODIUM					IMPACTS ÉCONOMIQUES EN CAS DE TENSIONS SUR LES APPROVISIONNEMENTS
Quantités et concentration géographique des ressources et réserves	Concentration des exploitations minières	Restrictions au libre commerce de la matière première	Existence de problèmes environnementaux spécifiques à la filière	Concentration de la métallurgie et des raffineries	Criticité économique de la filière
5	5	4	2	2	4.1
<p>Les réserves globales ne sont pas publiées de manière exhaustive, mais elles sont soumises aux mêmes contraintes que celles du platine.</p> <p>L'Afrique du Sud abrite près de 80 % des ressources mondiales.</p> <p>Tous les autres gisements sont secondaires par rapport au Bushveld d'Afrique du Sud, dont il n'est connu aucun équivalent.</p>	<p>Avec 80 % de la production minière mondiale en 2012, l'Afrique du Sud domine de loin l'offre en rhodium primaire, suivie de la Russie qui en contrôle 12,5 %.</p> <p>Un des problèmes majeurs est que la production de rhodium n'est pas flexible : elle dépend de la production de platine.</p>	<p>Les pays producteurs majeurs, Afrique du Sud et Russie, sont classés à risque moyen à médiocre dans les classifications des risques pays (Coface, OCDE, Fraser Institute)</p> <p>La production sud-africaine a été fortement affectée en 2012 par des grèves.</p> <p>La situation reste fragile et sensible, et des ruptures de production restent à craindre.</p>	<p>Le rhodium et ses composés ne sont pas particulièrement toxiques.</p> <p>Les problèmes environnementaux des exploitations sont essentiellement les impacts sur les paysages inhérents à toute exploitation du sous-sol.</p>	<p>Les unités métallurgiques sont relativement bien distribuées (Afrique du Sud et Russie, mais aussi Europe (Allemagne, Royaume-Uni), Japon, Amérique du Nord, etc.</p>	<p>Rhodium difficilement substituable pour les catalyseurs des véhicules à essence.</p>

Platinoïdes

— Criticité

EVALUATION DE LA CRITICITE DES ELEMENTS DU GROUPE DU PLATINE (Synthèse)



-  Zone à forte criticité. Actions conservatoires à prendre par l'Etat. Suivi de l'évolution des indicateurs de criticité
-  Zone à forte criticité. Veille active recommandée (observation continue des marchés, alertes, proposition de scénarios de parade)
-  Zone à criticité moyenne. Veille spécialisée recommandée (rédaction d'un rapport mis à jour annuellement)