



Les filières industrielles de Haute Technologie dépendent étroitement d'une large palette de métaux stratégiques : NTIC (Ta, Ge, In, Ga), superalliages (Re, Sc, Ta, Co), catalyse (Pt, Pd, Ru). Le BRGM, par son expérience et sa position de Service Géologique, a pour ambition de **fédérer la Recherche et le Développement autour de ces métaux** en considérant l'ensemble de leur cycle " du gisement au marché ".

Cette vocation intégratrice autour des métaux de l'avenir découle des compétences multidisciplinaires du BRGM, depuis la métallogénie, la minéralurgie et l'économie minérale, jusqu'aux aspects sociaux et environnementaux du développement durable.

Métallogénie

- ▣ Synthèses métallogéniques multi-échelles (du continent au gisement) : S.I.G. et cartes de prédictivité minière.
- ▣ Compréhension des processus de formation des gisements.
- ▣ Modélisation géologique des gisements non conventionnels en tant que nouvelles sources d'approvisionnement.
- ▣ Identification de nouveaux gisements associés aux résidus de traitements métallurgiques.
- ▣ Caractérisation minérale des minerais et spéciation ; identification de métaux valorisables.

➤ **Moyens analytiques de pointe au service de la métallogénie : analyses chimiques infra-traces, analyses chimiques in situ, isotopie, inclusions fluides, etc.**

Minéralurgie

- ▣ Expertise en procédés physiques de valorisation (broyage, gravimétrie classique et centrifuge, flottation, magnétisme) et R&D liée aux procédés de valorisation chimiques (hydrométallurgie, SX-EW).
- ▣ Expertise en biolixiviation des minerais et biotraitement des résidus solides (déchets métallurgiques, tailings, etc).
- ▣ Développement de logiciels de simulations de procédés (USIM-PAC), bilan matière (BILCO) et procédures d'échantillonnage (ECHANT).

➤ **Moyens : laboratoires (450 m²) et usine pilote (2 000 m²) pour broyage, flottation, biotechnologies, hydrométallurgie.**

Economie minérale

- ▣ Modélisations des comportements des marchés et prospective ; scénarii offre / demande.
- ▣ Cycles des métaux : dynamique des cycles, analyse des points de rupture. étude de risques par filière, impacts des innovations technologiques.

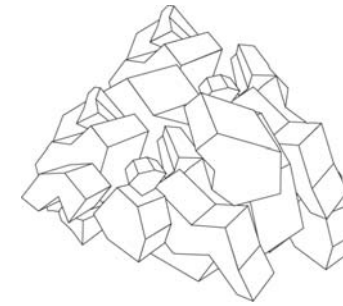
➤ **Analyses prospectives, anticipation des crises.**

Contact
 metaux.hightech@brgm.fr

Y. Deschamps y.deschamps@brgm.fr

BRGM
 3, avenue Claude Guillemin
 BP 6009
 45060 Orléans Cedex 2, France

+33 (0)2 38 64 34 34



Le développement de la pile à combustible pour l'automobile va accroître très sensiblement la demande pour le platine, produit à 80 % par l'Afrique du Sud.

Les progrès technologiques tendent à une réduction des quantités de platine utilisées, mais pas à sa substitution. L'économie hydrogène est donc dépendante du platine, avec le risque d'un déséquilibre offre-demande.

Il résulte de ce constat un besoin fort en R&D, axé aux deux extrémités du cycle du platine : économique, avec l'établissement de scénarios prospectifs de l'offre-demande à moyen et long terme, métallogénique, pour une meilleure compréhension des gisements à platine dominant.

Notre objectif est de contraindre chaque étape du raisonnement métallogénique par des orientations économiques parallèles.

Platine & Palladium, les frères ennemis		
	Pd "Nord"	Pt "Sud"
Prix fourchette 2003	150 - 200 USD/oz	600 - 800 USD/oz
Type	Sous-produit de minerai Cu-Ni-(Pd)	Produit principal (minerai Pt-(Pd))
Pays et producteur dominants	Russie (Noril'sk)	Afrique du Sud (Anglo Platinum)
Gisements	Intrusions mafiques à sulfures (Noril'sk, Sudbury, Jinchuan)	Complexes ultramafiques stratifiés (Bushveld, Grand Dyke)
Utilisations	Marché dominant Catalyse échappement essence (60 %)	Marché dual Catalyse échappement diesel Bijouterie Asie
Prospective demande à long terme	Décroissance vive	Croissance accélérée Catalyse Diesel (40% actuel, 60% en 2006) Pile à combustible (2015) Bijouterie (?)
Evolution de l'offre	Offre minière croissante via les projets Pt - UG2 du Bushveld Recyclage en augmentation rapide	Nombreux projets d'ouverture de mines en Afrique du Sud / Zimbabwe Recyclage en augmentation
Conclusion : dichotomie avec un différentiel croissant entre Pt et Pd		

Les enjeux des Eléments du Groupe du Platine dans la filière catalyse

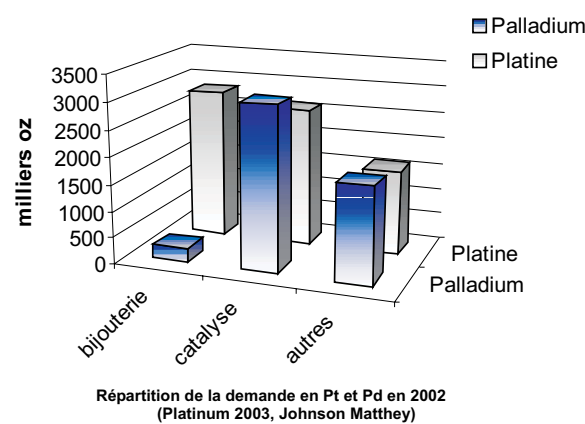
DEMANDE

Les secteurs de consommation

- Platine : la consommation pour la bijouterie est en croissance forte (en Chine notamment). Elle dépasse le niveau de consommation de la catalyse (2,8 Moz en 2002).
- Palladium : la filière électronique et la dentisterie concernent, à parts égales, 30% de la consommation de palladium.
- Catalyse automobile : on distingue essence et diesel :

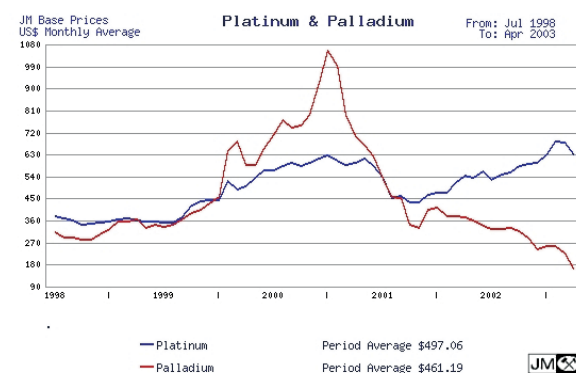
Essence	Pd <=>Pt (substitution, selon les cours)
Diesel	Pt

En 2002, le secteur automobile a consommé 3,1 Moz de Pd (-40 % par rapport à 2001) et 2,6 Moz de Pt (+3,6 % par rapport à 2001).



Des prix fortement volatils

- Tandis que le prix spot du palladium s'est effondré de 1090 USD (en 2001) à 170 USD (mi-2003), celui du platine en revanche a monté pour se rapprocher de 700 USD (mi-2003), soit quatre fois le prix du palladium.
- Les utilisateurs (constructeurs automobiles), en réaction à la spéculation sur le Pd, se sont retournés vers le Pt, accélérant la chute des cours du Pd et la remontée du Pt.

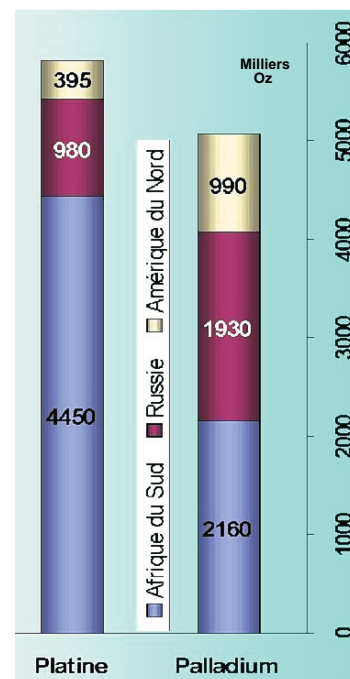


Evolution des prix moyens mensuels de Pt et Pd (Platinum 2003, Johnson Matthey)

OFFRE

Structure de l'offre

- Pour l'offre minière de Pd, le déclin de la production russe et l'augmentation de celle de l'Afrique du Sud conduit à la perte de la position monopolistique de la Russie. L'ouverture de nouvelles mines sur le niveau minéralisé UG2 du Bushveld, dont le ratio Pd/Pt est plus élevé que celui du Merensky Reef va accentuer cette tendance. Pour le Pt, si tous les projets se concrétisent en Afrique du Sud et au Zimbabwe, la production pourrait augmenter de 40 % entre 2002 et 2006 et celle des sous-produits (palladium, rhodium, iridium, etc.) de 60 %. L'Afrique du Sud produirait ainsi davantage de palladium que la Russie.
- Pour tenter de maintenir sa position de premier producteur mondial de Pd, Noril'sk Nickel a acquis en 2003 56% de Stillwater, seule mine de palladium des Etats-Unis.
- Le boom du prix du Pd en 2001 (1000 USD/oz) avait conduit les producteurs de Ni-Cu sulfuré (Noril'sk, Inco et Falconbridge) à privilégier l'extraction des parties les plus riches en Pd. La chute du prix du Pd a inversé cette tendance pour se focaliser sur le nickel début 2003. En conséquence, la production minière 2003 de palladium devrait encore diminuer.



Production de platine et de palladium en 2002, par région (Platinum 2003, Johnson Matthey)

Platine : un déficit d'offre et des stocks très faibles

- Pt : un stock très faible (< 0,5 Moz), équivalent à 3,5 semaines de consommation.
- Pd : un stock très important (10-12 Moz), équivalent à 100 semaines de consommation.

	palladium	platine
Stocks	10 - 12 Moz	< 0,5 Moz
Production minière	5,25 Moz	5,97 Moz
Recyclage	0,37 Moz	0,57 Moz
Demande totale	5,15 Moz	7,11 Moz
Surplus / Déficit	0,47 Moz	0,57 Moz

Platine et palladium. Comparaison offre demande et stocks en 2002 (Platinum 2003, Johnson Matthey)

Axes R&D en économie proposés par le BRGM

- Etablissement de scénarios prospectifs de l'offre-demande en platine aux horizons 2015-2025-2050, incluant deux aspects majeurs :
 - Offre** : échéancier et suivi des productions des nouveaux projets Pt (Afrique du Sud et Zimbabwe), à court et moyen terme (2010).
 - Demande** : impacts de l'avènement de la pile à combustible.

TYPOLOGIE GÉOLOGIQUE DE LA RESSOURCE

Éléments et minéraux du groupe du platine

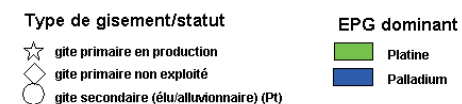
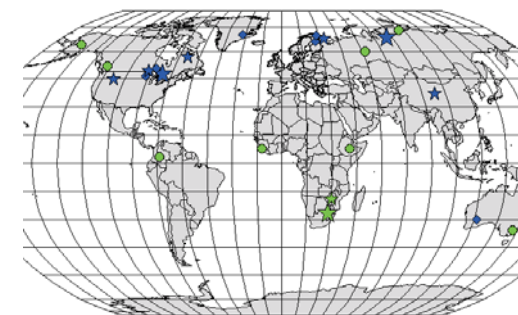
- Six métaux aux propriétés physiques voisines forment les éléments du groupe du platine (EGP) : Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt. Seuls Pt, Pd et Rh ont une importance industrielle significative.
- Les EGP forment des minéraux propres, dénommés minéraux du groupe du platine (MGP). Il en existe plus de 100 espèces (natifs, alliages, sulfures, arséniures, sulfarséniures, etc.) et des solutions solides avec des sulfures de métaux de base.

Pt	Pd
Isoferroplatine Pt ₂ Fe	Moncheite (Pt,Pd)(Te,Bi) ₂
Tetraferroplatine Pt ₄ Fe	Braggite (Pt,Pd,Ni) ₂ S
Tulameenite Pt ₂ FeCu	Merenskyite (Pd,Pt)(Te,Bi) ₂
Cooperite PtS	Stibiopalladinite Pd ₂ Sb ₂
Sperryite PtAs ₂	Atokite (Pd,Pt) ₂ Sn

Principaux minéraux du groupe du platine

La minéralogie des minerais conditionne traitement et récupération

- Complexité de la distribution des six EGP dans chaque minéral.
- Granulométrie : la taille des grains varie de 1 à 2 µm pour l'UG2 (Bushveld, Afrique du Sud) à 200 µm pour le JM Reef (Stillwater, USA), et jusqu'à plusieurs cm pour les minéraux associés aux chromites de Nizhny Tagil (Russie).
- Hétérogénéité des minerais : 71 MGP sont répertoriés dans le gisement de Noril'sk (Russie), 49 correspondant à des espèces connues.



Répartition des gisements de platine et palladium (BRGM, 2003)

Les grands types de gisements

- Dix-neuf mines seulement sont la source de 99 % de la production des EGP.
- Les concentrations économiques des EGP sont principalement liées :
 - à des couches de chromite (gisements à Pt dominant),
 - à des sulfures massifs à disséminés (gisements à Pd dominant).
- Les sulfures et chromites agissent comme collecteur des EGP durant les étapes précoces de la cristallisation des magmas.
- La formation des concentrations des EGP est conditionnée par la dynamique du système magmatique (minéralisations stratiformes ou "reefs", de type contact, brèches minéralisées, mélange de magma, pièges, etc.) dont la reconnaissance est essentielle pour l'exploration.

Les gîtes atypiques

- Sous l'action de fluides hydrothermaux, les EGP peuvent former des concentrations économiques (Lac des Iles, Canada) ou donner de très fortes reconcentrations locales au sein d'un gisement (Sudbury, Canada).
- De faibles concentrations sont connues dans certains gisements de type porphyre (Au-Cu) ou d'amas sulfurés et dans les schistes cuprifères. Les EGP sont récupérés en sous-produit du raffinage du cuivre.
- L'altération latéritique peut également localement reconcentrer les EGP (comme en Nouvelle-Calédonie).
- Les placers ont un rôle important, à la fois dans la production de platine, mais aussi pour l'exploration parce qu'ils permettent de remonter aux sources primaires.

Seuls les processus magmatiques donnent des gisements parce qu'ils conduisent à des tonnages et teneurs élevés.

Typologie	Expression du minéral							
	Reef à sulfures disséminés	Reef à chromite et sulfures	Reef à magnétite	Sulfures massifs	Sulfures disséminés	Chromite sans sulfure	Silicate sulfures	Brèche sulfures
Complexes mafiques-ultramafiques stratiformes	Pt=Pd	Pt>Pd			Pt = Pd		Pt>>Pd	
Petites intrusions mafiques litées	Pd>Pt	Pd>Pt			Pd>Pt		Pd>Pt	
Intrusions alcalines			Pd>>		Pd			
Complexes stratiformes différenciés	Pd>>							Pd>>
Complexe d'impact météoritique (Sudbury)				Pd>Pt				Pd>Pt
Complexes ultramafiques zonés						Pt		
Trapps basaltiques				Pd>>Pt				
Komatiites					Pd>Pt; Pd= Pt; Pd>>			
Ophiolites (cumulats ultramafiques)						Pt		

Typologie géologique des principaux gisements de Pt et Pd (BRGM, 2003)

Axes R&D en métallogénie - minéralogie proposés par le BRGM

- Compréhension des processus de concentration des métaux, pour approfondir la connaissance des gisements et cibler l'exploration de nouvelles zones.
- Inventaire global des sites favorables (magmatisme mafique-ultramafique, concentrations de sulfures, de chromite), étude des magmas source, compréhension de l'association platine-chromite ; recherche de contextes alternatifs aux reefs à Pt, comme par exemple les gisements disséminés (grandes réserves, faibles teneurs, exploitables à ciel ouvert).