

# Fiches détaillées

## Graphite<sup>1</sup>

**Pascal Marteau – Ingénieur géologue  
et Jean-François Labbé - Ingénieur en économie minérale, BRGM**

### Le Graphite, une des formes cristallines du carbone avec de nombreuses utilisations industrielles

Le graphite est, avec le diamant, l'une des formes naturelles du carbone, 6<sup>e</sup> élément chimique, non-métallique, du tableau de Mendeleïev. C'est un minéral solide noir, tendre, à éclat sub-métallique, qui ne fond pas mais se sublime à 3 825 °C à pression atmosphérique.

Ses propriétés physiques de métaux (conductivité thermique et électrique, flexibilité) et de non-métaux (cristallisation en feuillets, dureté anisotrope) lui assurent une large gamme d'utilisation, de la simple mine de crayon à l'industrie nucléaire (barres de contrôle), en passant par les lubrifiants, les produits réfractaires (creusets, fours) et la métallurgie, les piles à combustible, les batteries au lithium...

La production de graphite naturel est de l'ordre de 1,25 Mt/an, dominée à 80 % par la Chine, suivie du Brésil (8 %). Le reste de la production se répartit entre une dizaine de pays (Inde, Canada, Corée du Nord, Ukraine, Madagascar, Russie, Tchéquie, Autriche, Mexique, Norvège...).



Figure 1 - Échantillon de graphite naturel  
© en.wikipedia.org/wiki/Graphite

### Pétrographie et minéralogie. Origine et types de gisements de graphite, ressources

Le carbone, sous forme organique (hydrocarbures, charbons..) ou minérale (graphite, diamant, carbonates) a une abondance estimée à 0,02 % dans la croûte terrestre. Le graphite naturel est formé par métamorphisme des composants carbonés organiques, à plus de 400 °C, produisant :

- du graphite dit "amorphe" présent sous forme de fines particules. Il s'agit en réalité de graphite microcristallin, issu par métamorphisme modéré de charbons ou de schistes bitumineux (gisements du Mexique, de Corée, d'Autriche) ;
- du graphite en paillettes ("flakes"), le plus fréquent, produit par un métamorphisme intense. Ce graphite est disséminé ou forme des lentilles (jusqu'à 1 km de long et 20 m d'épaisseur) dans des quartzites, des marbres, des micaschistes, des gneiss (gisements en Chine, au Canada, au Brésil, à Madagascar...);
- du graphite en masse ou en veines (de 1 cm à 1 m d'épaisseur), très pur (>90 % C), rare, qui proviendrait de pétrole métamorphisé, exploité au Sri Lanka.

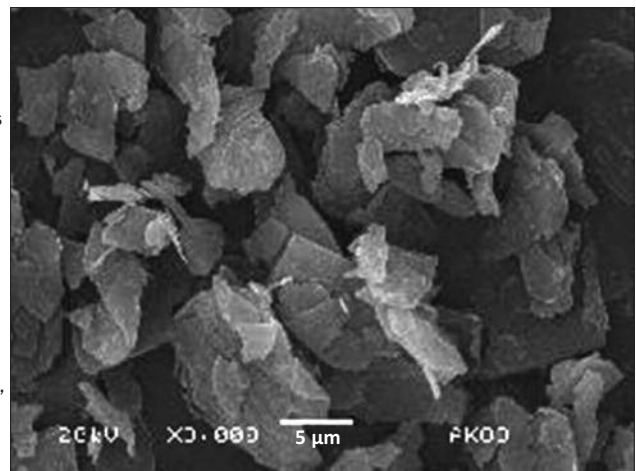
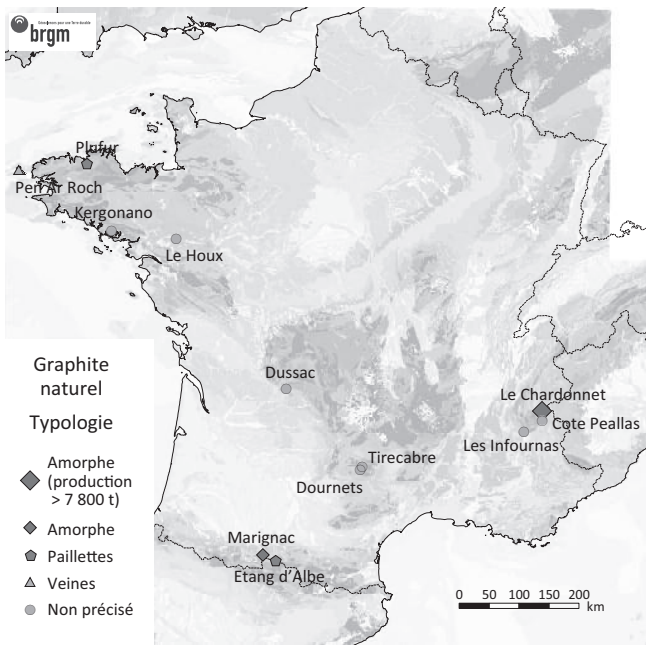


Figure 2 - Graphite « amorphe » (vus au Microscopie Électronique à Balayage)  
Source : Kaiyu Industrial Ltd

Figure 3 – Principaux gîtes de graphite en France métropolitaine  
© BRGM, 2014



Les graphites synthétiques sont obtenus par pyrolyse à partir de charbons et d'hydrocarbures et sont utilisés bruts ou après traitements.

Les ressources mondiales en graphite, mal évaluées, seraient de l'ordre de 800 Mt (2011). Les réserves se monteraient à 71 Mt (USGS 2012), dont 55 Mt pour la Chine, 5,2 Mt pour l'Inde, 3,1 Mt pour le Mexique, 1 Mt pour Madagascar et environ 7 Mt pour d'autres pays (Tchéquie, USA, Brésil, Australie, etc.).

En France il existe des indices de graphite dans les séries métamorphiques des massifs anciens, et dans les charbons métamorphisés des Alpes et des Pyrénées. De petits gîtes ont été exploités (7 800 t produits au Chardonnet, dans le Briançonnais), mais leurs ressources ne sont pas évaluées, et leur inventaire reste incomplet.

## Méthodes d'exploitations

Les gisements de graphite sont exploités par galeries en mines souterraines ou en carrières à ciel-ouvert selon les méthodes classiques.



Figure 4 – Exploitations de graphite à ciel-ouvert, à gauche (Lac des Isles - Québec) et en mine souterraine, à droite (Konstantin – République Tchèque)

## Traitements et applications industrielles

Le traitement des minerais de graphite consiste généralement en un concassage grossier pour le graphite en paillettes et un broyage fin pour le graphite amorphe, suivis de tamisage, classification par soufflage ou par flottation, très efficace pour le graphite en paillettes.

Des minerais à 5 % de graphite peuvent être ainsi enrichis en concentrés à 80 à 90 %. Pour obtenir des concentrés très purs (jusqu'à 99,95 %), par exemple pour les usages dans le nucléaire, des procédés chimiques sont mis en œuvre.



Figure 5 – Traitement de graphite par flottation (mine de Konstantin - République Tchèque © www.grafitovedoly.cz.)

## Production mondiale, utilisations et marchés

La production de graphite naturel est dominée à 80 % par la Chine (7 sociétés), pour les deux formes les plus répandues (paillettes et "amorphe"), suivie du Brésil (8 %, 3 producteurs). Le reste de la production se répartit entre une douzaine de pays (Inde, Canada, Corée du Nord, Ukraine, Madagascar, Russie, Tchéquie, Autriche, Mexique, Norvège...) et une quinzaine de producteurs. Des sociétés européennes comme Grafit Kropfmühl (Allemagne) et Timcal (Suisse, filiale du groupe français Imerys), contrôlent des exploitations sur d'autres continents. La production mondiale a atteint 1,24 Mt en 2011.

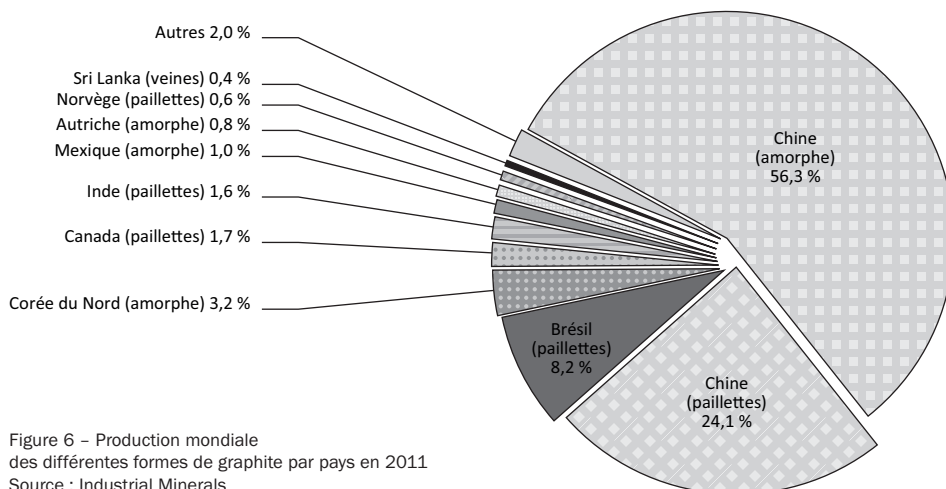


Figure 6 – Production mondiale des différentes formes de graphite par pays en 2011  
Source : Industrial Minerals

Les fabricants de produits intermédiaires et semi-finis en graphite sont surtout implantés aux États-Unis (six sociétés et leurs filiales), en Chine (une quarantaine de sociétés) et en Europe occidentale, notamment en Allemagne, en Suède, en Suisse et au Royaume Uni.

Les utilisations des graphites sont indiquées dans le tableau suivant.

Figure 7 - Principales utilisations des graphites naturels, graphites traités et graphites synthétiques (Source : Roskill, 2009)

	graphite naturel			graphite naturel traité		graphite synthétique
	paillettes cristallines	morceaux cristallisés	masses micro-cristallines	exfolié, expansé	colloïdal	graphite synthétique
batteries	✓	✓		✓	✓	✓
balais carbone	✓		✓			✓
electrodes fours électriques						✓
électronique (puits de chaleur)	✓		✓			✓
enduits conducteurs	✓		✓	✓	✓	
réfractaires magnésie graphite	✓		✓			
réfractaires alumine graphite	✓		✓			
garnitures (freins, embrayages)	✓		✓	✓		✓
creusets, poches de coulée	✓		✓		✓	
fonderie additifs	✓	✓	✓			
fonderie moules	✓		✓		✓	
aciers, alliages			✓		✓	✓
métallurgie des poudres	✓	✓				✓
crayons	✓		✓			
lubrifiants	✓	✓	✓	✓	✓	✓
explosifs	✓		✓			
boues de forage	✓					
réacteurs nucléaires	✓					
retardateur de flamme	✓			✓		
diamants synthétiques	✓					

Les principaux utilisateurs français de graphite sont :

- les fabricants de fours et équipements industriels (FNAG, Mersen, ECM-Technologies) ;
- des producteurs de batteries Lithium-ion (SAFT, E4V, avec du graphite naturel ou synthétique) ;
- les constructeurs automobiles et leurs sous-traitants (garnitures de frein et embrayages, fours en fonderie pour la fabrication de pièces), ainsi que pour les véhicules électriques (anodes de batteries en graphite) ;
- Vishay Sfernice, filiale de Vishay USA, fabriquant des encres résistives au graphite, pour l'électronique ;
- certains fabricants de lubrifiants industriels, qui utilisent probablement du graphite.

Des pièces contenant du graphite (systèmes de freinage, balais de contacts, etc.) sont mises en œuvre plus en aval par les industries ferroviaires, aérospatiales, de défense, de génération électrique.

Il n'existe pas de cotation publique des prix du graphite, négociés directement entre les acheteurs et les producteurs. Ces prix dépendent de la nature du graphite (paillette ou « amorphe ») et de sa teneur en carbone.

Après la crise de 2008, les prix ont fortement augmenté fin 2011 (850 \$/t pour le graphite microcristallin faible teneur en carbone, jusqu'à 2 500 \$/t pour les paillettes à forte teneur en carbone). Le graphite synthétique cote de 7 000 à 20 000 \$/t, et la poudre de graphite microcristallin de très haute pureté (99,9 % C) a atteint 35 000 \$/t en 2010.

Figure 8 – Pièces industrielles en graphite (www.graftech.com)



(©www.findersresources.com, d'après Industrial Minerals)

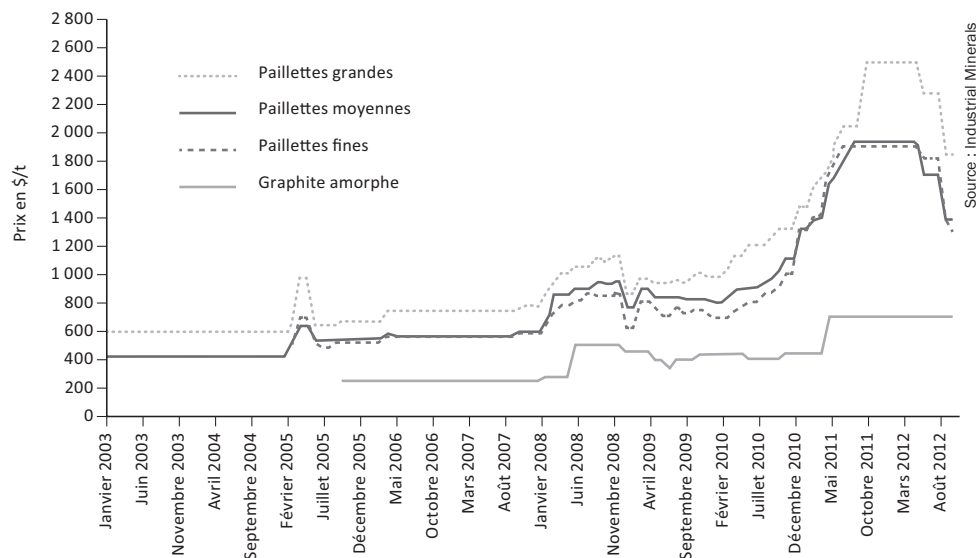


Figure 9 - Évolution du prix moyen des graphites naturels en Europe entre 2003 et 2012 (USD/t)

## Substitution et recyclage

Selon les usages, le graphite peut être substitué par :

- le lithium métal et le titanate de lithium pour les anodes de batteries ;
- les micas, le talc, la molybdénite dans les lubrifiants ;
- divers types de céramiques dans les produits réfractaires ;
- des matériaux organiques et composites minéraux pour les garnitures de freins.

Le graphite est relativement peu recyclé. Dans les pièces de friction et les lubrifiants il se disperse lors de l'usure du support. Les électrodes sont partiellement récupérées, ou broyées et transformées en produits réfractaires. Les produits réfractaires sont recyclés davantage pour les autres composants que pour le graphite contenu.

## Références bibliographiques

Barthélémy F., Labbé J.F. et Picot J.C. (2012) - Panorama 2011 du marché du graphite naturel. Rapport BRGM/RP-61339-FR, 91 p. 15 fig., 20 tabl.

British Geological Survey (2011) - Risk list 2011, 9 p, disponible en ligne : [www.mineralsuk.com](http://www.mineralsuk.com)

Carlin J.F Jr (USGS, 2011) - 2010 Minerals Yearbook: Graphite, 2011, 9 p., disponible en ligne : [minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/graphite](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/graphite)

Chauris L et Gignes J. (1969) - Gîtes minéraux de la France, Volume 1, Massif Armoricain. Mémoires du BRGM n° 74. 100 p., 15 fig., 4 tab., 8 cartes hors texte.

Delfau M. et Duhamel M. (1983) - Ressources minières françaises, Tome 14. Les gisements de sillimanite, d'andalousite, de disthène, de magnésite, de graphite, de feldspaths, situation en 1983. Étude BRGM sous l'égide du Comité de l'Inventaire des Ressources Minières métropolitaines.

Feys R. (1953) - Bassin houiller briançonnais. Gisement de graphite du Chardonnet (Hautes Alpes). Rapport BRGG A287.

Harben P.W. (2006) - The Industrial Minerals Handybook, a guide to markets, specifications and prices, 4th edition. IMI ([www.indmin.com](http://www.indmin.com)), UK, 408 p.

Jébrak M. et Marcoux E. (2008) - Géologie des ressources minérales. Société de l'Industrie Minérale. 667 p.

Moore S. (2012) - The natural graphite industry in 2012. Reshaping for a hi-tech revolution. Industrial Minerals presentation to the Graphite Express Conference, Toronto, 22d May 2012.

Olson D.W. (2012) - USGS 2011 Minerals Commodity Summary, Graphite (Natural).

Raw Material Group (2011) - Raw Material Data (base de données).

Roberts J. (2012) - Graphite Special 2012, in Industrial Minerals, March 2012, p. 35-51.

Roskill Information Services (2009) - The Economics of Natural Graphite, 234 p., 3 annexes.

Zajec O., Anquez M., Hocq J. et de Gliniasty M. (2011) - Stratégie de sécurisation des approvisionnements en matériaux critiques. Audit de perception industrielle. Graphite, lithium, tantale, tungstène, antimoine. Rapport de la CEIS, 79 p.