

# Le graphite



© www.graphtech.com

Août 2012

Le graphite, une des formes cristallines du carbone, a une large utilisation industrielle : nucléaire, piles à combustible, batteries au lithium, réfractaires, métallurgie, lubrifiants...

## > Propriétés

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), les piles à combustible, les batteries au lithium...

N° atomique	Masse atomique
6	12,01
<b>C</b>	
Pt d'ébullition (sublimation)	
3925°C	
Densité	Clarke
2,30	200 ppm

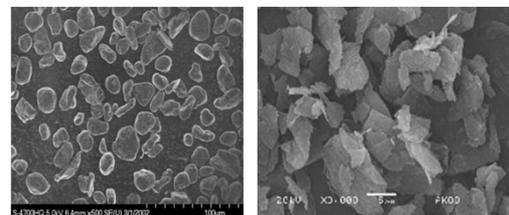


© clubofmozambique.com

## > Usages

Le graphite peut être soit naturel, soit synthétique.

Le graphite naturel se présente en blocs, en paillettes, en grains microcristallin ("amorphe"). Il peut être utilisé brut ou après purification, avec ou sans traitement, sous forme de graphite expansé, colloïdal, en feuille, sphérique...



Graphite sphérique à gauche et graphite « amorphe » à droite (vus au Microscope Électronique à Balayage).

Sources : K. Zaghbi et al. et société Kaiyu Industrial Ltd

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

Le graphène (atomes de carbone en maille hexagonale monocouche) a d'exceptionnelles propriétés (résistance, conductivité thermique et électrique) qui en font un matériau d'avenir en électronique, mais reste un produit de laboratoire.

Le graphite a donc des usages particuliers et spécifiques, de base ou de haute technologie, selon les formes sous lesquelles il se présente. Le tableau de la page suivante montre un ensemble d'applications industrielles des différentes formes de graphite, qui peuvent être en compétition entre elles, notamment pour les utilisations telles que les batteries, les balais de carbone, la métallurgie etc.

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

Principales utilisations des graphites naturels, graphites traités et graphites synthétiques (d'après Roskill, 2009)

## > Substitution

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.

## > Recyclage

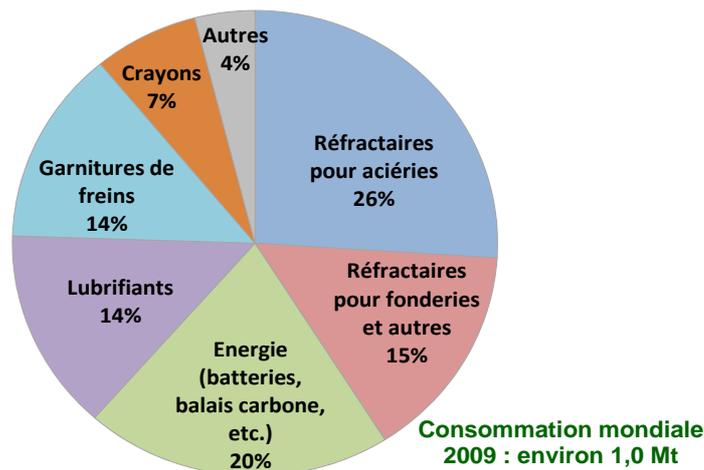
Le graphite est relativement peu recyclé. Dans les pièces de friction et les lubrifiants il se disperse lors de l'usure du support. Les électrodes sont partiellement récupérées, ou broyées et transformées en produits réfractaires. Les produits réfractaires sont recyclés davantage pour les autres composants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

## > Risques sanitaires

Le carbone élémentaire n'est pas toxique. Les principaux risques pour la santé sont liés, soit à la silice présente dans certains graphites naturels, soit à l'exposition au carbone non élémentaire lors des processus de production des graphites à partir de charbons et d'hydrocarbures.

## > Consommation mondiale

Depuis 2005, la consommation mondiale de graphite naturel est de 0,9 à 1,1 Mt/an, dont plus des 2/3 en Asie (Chine, Japon et Inde). Il n'y a pas de statistiques de consommation de graphite synthétique, estimée à environ 200 000 t/an.



Le graphite est surtout destiné aux réfractaires pour la production d'acier et pour les fonderies. Les secteurs de l'énergie (batteries) et de la construction électrique (« charbons », balais de carbone), actuellement 20 % de la consommation mondiale, présentent le plus d'enjeu en terme d'évolution technologique et d'accroissement de la demande.

Au cours des trente dernières années, le graphite synthétique a eu tendance à remplacer le graphite naturel dans la fonderie, la métallurgie des poudres et la recarburation des aciers.

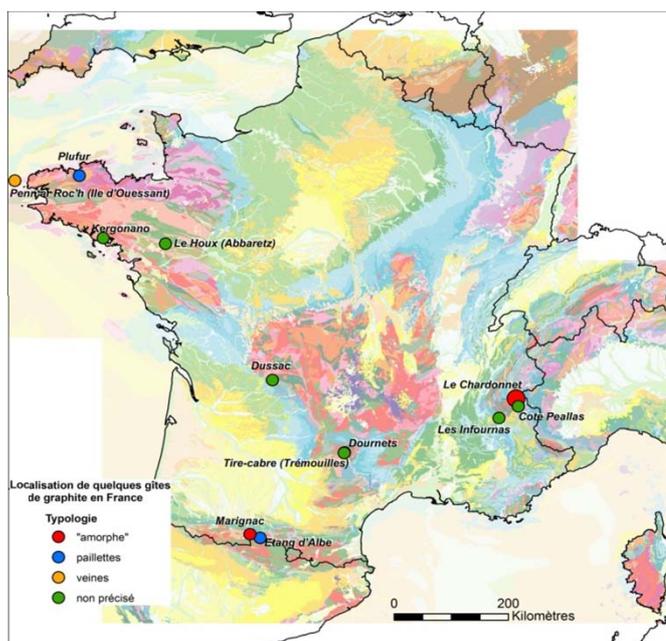
## > Réserves et ressources

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

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

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. Certains ont été exploités (7 800 t au Chardonnet, dans le Briançonnais), mais leurs ressources ne sont pas évaluées, et leur inventaire incomplet.

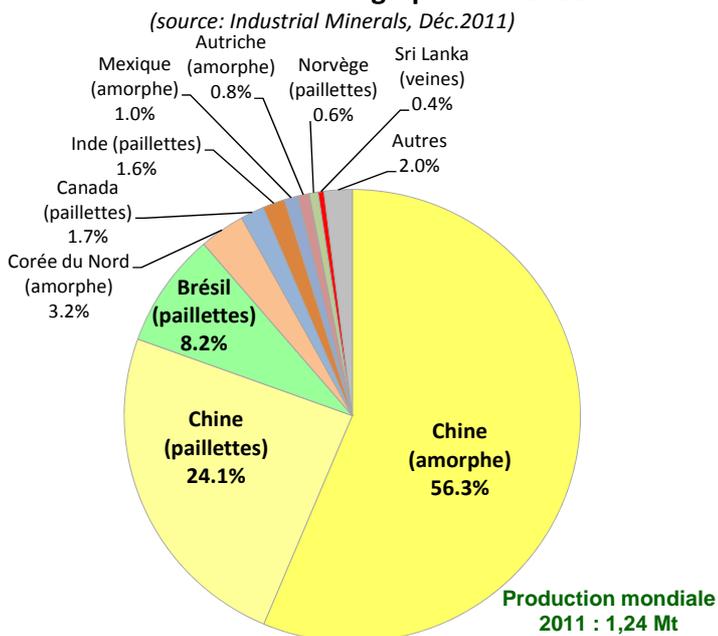


Principaux gîtes de graphite en France métropolitaine (BRGM, 2012)

## > Production

La production de graphite naturel est dominée à 80 % par la Chine (7 producteurs), 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 français Imerys), contrôlent des exploitations sur d'autres continents. La production mondiale a atteint 1,24 Mt en 2011.

### Production minière de graphite en 2011



## > Traitement des minerais, métallurgie

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.



Flottation de graphite à la mine de Konstantin - République tchèque (© www.grafitovedoly.cz.)

## > Transformateurs et utilisateurs

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 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, fabricant 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.

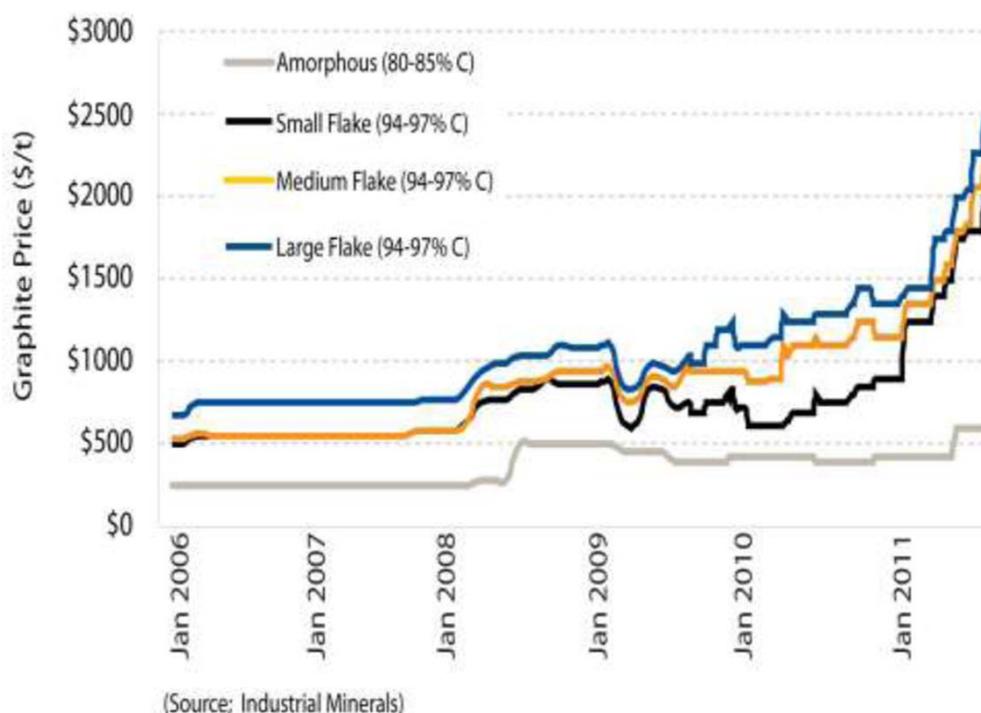
## > Prix

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.

## > Criticité

L'importance du graphite pour les utilisateurs industriels en France est évaluée à « moyenne à forte ». Les risques sur les approvisionnements sont considérés de niveau moyen, compte tenu de la position prédominante de la Chine et de la perspective de mise en valeur de nouvelles ressources dans d'autres pays.



Évolution du prix du graphite entre 2006 et 2011 (©www.findersresources.com, d'après Industrial Minerals).