



mémento roches et minéraux industriels

## le graphite

J.-F. Becq-Giraudon

juillet 1989  
89 SGN 512 GEO

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES  
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL  
Département Géologie  
Service Roches et Minéraux Industriels  
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France - Tél.: (33) 38.64.34.34

## SOMMAIRE

	Pages
I - INTRODUCTION	01
II - STRUCTURE ET PROPRIETES PHYSIQUES	01
II.1 - Généralités	01
II.2 - Structure cristalline	01
II.3 - Propriétés physiques	03
III - GRAPHITE NATUREL	06
III.1 - Géologie et terminologie	06
III.2 - Economie et marché	07
III.2.1 - Marché français	07
III.2.2 - Marché international	08
III.3 - Production mondiale	10
III.4 - Quelques pays producteurs	11
III.4.1 - Chine	11
III.4.2 - Sri Lanka	11
III.4.3 - Madagascar	14
III.4.4 - Indes	14
III.4.5 - Autriche	14
III.4.6 - République Fédérale d'Allemagne	16
III.4.7 - Tchécoslovaquie	16
III.4.8 - Mexique	16
III.5 - Préparation et traitement	16
IV - UTILISATIONS DU GRAPHITE NATUREL	17
IV. 1 - Industrie réfractaire	17
IV. 2 - Autres utilisations	17
V - GRAPHITE DE SYNTHESE	19
V.1 - Fabrication	19
V.2 - Utilisation	19
V.3 - Production et marché	19
REFERENCES	20

## LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Diagramme de phase du carbone	02
Figure 2 : Structure cristalline du graphite	04
Figure 3 : Provinces productrices de graphite en Chine	12
Figure 4 : Gisements de graphite du Sri-Lanka	13
Figure 5 : Gisements de graphite de Madagascar	15

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résistivité électrique du graphite	03
Tableau 2 : Conductivité thermique du graphite	05
Tableau 3 : Evolution des importations françaises de graphite naturel	07
Tableau 4 : Principaux pays fournisseurs de la France	08
Tableau 5 : Evolution des prix du graphite depuis 1984	09
Tableau 6 : Evolution de la production mondiale de graphite naturel	10
Tableau 7 : Utilisations et spécifications du graphite	18

## I - INTRODUCTION

Le carbone constitue l'un des éléments les plus répandus à la surface du globe.

A l'état natif, il se présente sous deux formes cristallines, aux aspects et aux propriétés radicalement différentes et presque opposés : le diamant et le graphite.

Le diamant est transparent, dur et rare alors que le graphite est répandu, opaque et tendre. Néanmoins, de par ses propriétés physiques, il présente un large éventail d'utilisations dans diverses branches industrielles, telles la métallurgie, les réfractaires, l'industrie électrique, le nucléaire, etc.

Le graphite industriel provient de deux sources principales :

- sous forme de graphite naturel, associé aux roches affectées par le métamorphisme
- sous forme de graphite synthétique, par graphitisation de coke de pétrole

Ces deux sources fournissent des produits aux caractéristiques différentes et qui, de ce fait, ont des utilisations et des marchés distincts.

## II - STRUCTURE ET PROPRIETES PHYSIQUES

### II.1 - Généralités

Les multiples utilisations du graphite, quelque soit son origine, découlent directement des propriétés physiques de ce minéral, elles-mêmes reflet direct de la cristallographie de cette phase solide sous laquelle se présente le carbone (fig. 1). Aussi est-il important d'en décrire la structure cristalline et les principales propriétés physiques qui en résultent et qui conditionnent les usages de ce matériau dans l'industrie.

### II.2 - Structure cristalline (fig. 2)

La maille élémentaire est constituée par un hexagone plan où chaque atome de carbone a ses quatre valences saturées par des liaisons avec les atomes voisins. Le cristal de graphite se compose donc idéalement d'un empilement de feuillets élémentaires monoatomiques, de faible cohérence car ils ne sont reliés entre eux que par les forces de Van der Waale, très faibles.

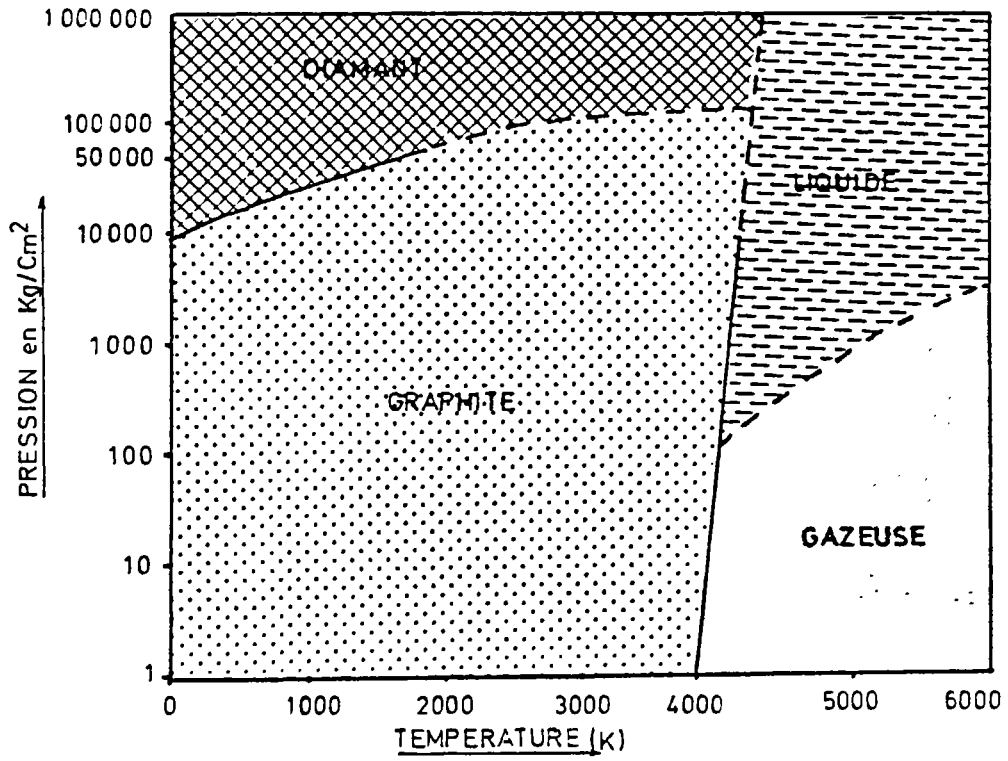


Fig. 1 : Diagramme de phase du carbone

Le graphite cristallise selon deux systèmes :

- le système hexagonal, forme la plus répandue (90 % de tous les cristaux) où les feuillets élémentaires se disposent selon un ordre A - B - A - B (fig. 2-A).
- le système rhomboédrique, beaucoup plus rare et moins stable aux conditions de température et pression ordinaires, où les feuillets élémentaires se répètent selon un ordre A - B - C - A - B - C (fig. 2-B).

Les différents paramètres de la maille élémentaire sont donnés en figure 2.

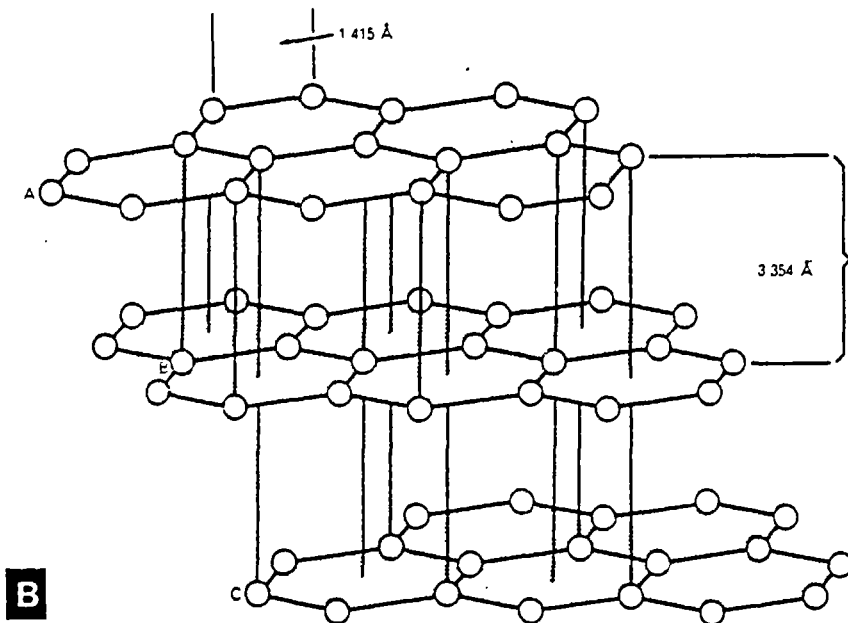
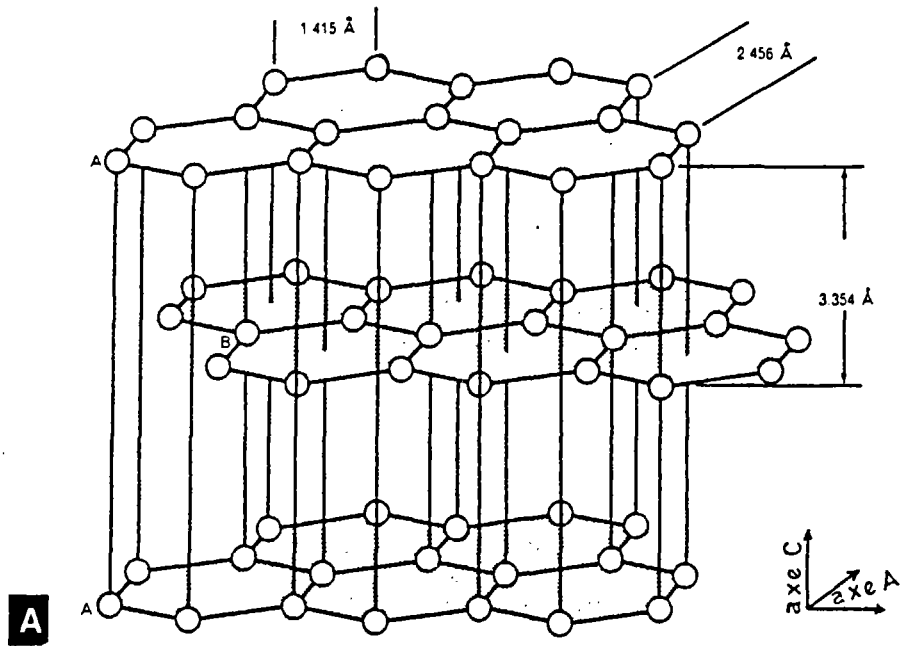
### II.3 - Propriétés physiques

- Dureté : le graphite est un corps très tendre, de dureté 1 à 2 dans l'échelle de dureté de Mohs.
- Densité : varie entre 2,1 et 2,3 selon le degré de cristallinité et de graphitisation.
- Conductivité et résistivité : considéré comme un bon conducteur électrique, la résistivité du graphite (résistivité = 1/conductivité) est supérieure à celle du cuivre, même selon la direction la plus favorable le long des feuillets élémentaires (axe A - fig. 2) - (tableau 1).

La résistivité décroît avec la température entre 500 et 1 000° C pour regagner la valeur qu'elle a, à température ambiante, entre 1 500 et 2 000° C.

	Monocristal	Graphite naturel	Cuivre
Axe A	1	1 à 100	0,02
Axe C	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	

Tableau 1 : Résistivité électrique du graphite (en Ohm.cm x 10<sup>4</sup>) à température ambiante



**Fig. 2** : Structure cristalline du graphite  
 A : forme hexagonale  
 B : forme rhomboédrique

- Conductivité thermique : le tableau 2 donne les principales valeurs de conductivité thermique du graphite comparé à celles d'autres minéraux

Substances	Axe A	Axe C
Monocristal de graphite	4,0	0,8
Graphite naturel	4,0	0,8
Graphite de synthèse	4,0	0,02 à 0,04
Cuivre	3,9	
Aluminium	2,4	
Fer	0,8	
Brique	~ 0,007	
Verre	~ 0,007	

Tableau 2 : Conductivité thermique du graphite et d'autres substances (en watt/Cm°C à température ambiante)

- Propriété lubrifiante : le graphite est un excellent lubrifiant ; cette propriété est liée à deux facteurs : la faible cohérence entre les feuillets, lesquels glissent très facilement les uns par rapport aux autres, et la présence de gaz adsorbé sur les surfaces des feuillets (les qualités lubrifiantes disparaissent lorsque ces gaz sont enlevés sous vide).

Cette propriété est mesurée par le coefficient de friction statique  $\mu_s$  (ratio des forces nécessaires pour provoquer des mouvements entre corps aux forces de pression s'exerçant sur ces corps). Pour le graphite naturel  $\mu_s = 0,15$ , valeur très basse, quasiment invariable à des températures de l'ordre de 1 000°C.



- Résistance à l'oxydation : le taux d'oxydation (à l'air ou dans l'oxygène) varie en fonction de la dimension des particules et de la température. Certaines impuretés augmentent ce taux par effet de catalyse :

- . la diminution de taille des particules augmente le taux d'oxydation par l'augmentation des surfaces disponibles pour l'attaque par l'oxygène
- . la température : l'oxydation est imperceptible à 400 °C et très rapide à 850 °C. C'est une réaction exothermique qui s'auto-entretient et peut devenir rapidement incontrôlable.

### III - GRAPHITE NATUREL

#### III.1 - Géologie et Terminologie

Le graphite naturel est le graphite obtenu à partir de l'exploitation minière de roches contenant cette substance, à l'opposé du graphite synthétique (ou électro-graphite) obtenu par graphitisation de coke de pétrole (cf. ch. V).

La terminologie appliquée aux différentes formes naturelles du graphite est fortement marquée par les aspects commerciaux liés à cette substance. On distingue deux grands types de graphite naturel commercialisable :

- le graphite "cristallin" : il est subdivisé en deux sous types :
  - . le graphite en "mouchetures" (ou "flake graphite") : localisé dans des roches métamorphiques d'origine sédimentaire, il est à l'état disséminé, en quantité variable, (jusqu'à 90 % de la roche en place), dans des gneiss et micaschistes encaissants. La dimension moyenne des mouchetures est de l'ordre de 0,25 cm. L'épaisseur des horizons productifs, de forme lenticulaire ou lités, peut atteindre jusqu'à 30 m pour des extensions de plusieurs milliers de mètres.
  - . Le graphite en "filon" ("Vein" ou "Lump" graphite) : il se présente en veines de 75 % à 100 % de carbone graphitique. Les épaisseurs varient depuis un film carboné (millimétrique) à des corps minéralisés de 3 m d'épaisseur, s'étendant sur plusieurs centaines de mètres. Le graphite se présente en cristaux de forme variée dont la croissance s'est faite depuis les épontes vers l'intérieur. Il occupe, de façon secondaire, des fissures de la roche encaissante en contexte métamorphique.

Ces deux sous-types se rencontrent essentiellement dans des roches métamorphiques d'âge précambrien. Leur origine reste encore mal élucidée ; elle peut être d'origine organique, le graphite résultant alors du métamorphisme d'anciens dépôts carbonés (pétrole).

- Le graphite "amorphe" ("amorphous" graphite) : cette dénomination commerciale est techniquement erronée car tout graphite est cristallin ; elle désigne toute masse graphitique microcristalline. Le graphite se présente alors avec un aspect terreux noir, contrastant avec l'aspect brillant métallique des variétés cristallines.

Il résulte du métamorphisme (soit régional, soit par contact) des sédiments carbonés (roches-magasin de pétrole, schistes bitumineux ou ampéliteux) et des couches de charbon. La teneur minimum économique est de 80 % de graphite. Ce type de gisements est généralement plus jeune que les gisements de variétés cristallines.

### III.2 - Economie - Marché

#### III.2.1 Marché Français

La France ne possède pas de gisement de graphite naturel économique. Aussi tout le graphite naturel utilisé par l'industrie française est-il importé ; le tableau 3 donne l'évolution des importations françaises de graphite naturel depuis 1982 :

ANNEES	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Tonnage	4 677	3 662	4 578	5 277	5 572	5 864
Valeurs (en milliers FF)	13 919	13 331	16 151	24 469	24 021	28 169

Tableau 3 : Evolution des importations françaises de graphite naturel (toutes variétés confondues)

Le tableau 4 donne la liste des principaux pays fournisseurs par type de graphite naturel :

Pays	Type	Graphite cristallin (en tonnes)	Graphite amorphe (en tonnes)	Total (tonnes)
R.F.A.		131	1 225	1 356
Gde Bretagne		-	636	636
Suisse		-	323	323
Autriche		-	767	767
Madagascar		162	387	549
Sri Lanka		260	-	260
Chine		480	1 063	1 543

Tableau 4 : Principaux fournisseurs de la France en graphite naturel  
- année 1987 -  
(Sources : Statistiques du Commerce Extérieur de la  
France - Année 1987)

Une partie a été réexportée, vers la C.E.E. principalement, pour un montant de 567 tonnes (valeur : 2 791 000 francs).

### III.2.2 Marché international (d'après Russel A. 1988)

Le marché du graphite se caractérise par des cycles, suite de dépressions et de surproductions apparentes suivie de périodes de pénuries : c'est ainsi que les prix, stables depuis 1984, ont augmenté en 1988 de 25 % en moyenne par rapport à 1987. Du fait de la nature de l'industrie du graphite qui produit et utilise entre 500 et 600 variétés, il est difficile de fournir des prix spécifiques pour chaque type de produit. Le tableau 5 donne l'évolution du prix des produits les plus importants depuis 1984 (Sources : Industrial Minerals, en \$ U.S., prix (CIF par tonne, départ ports de Grande-Bretagne) :

Années Type	1984	1985	1986	1987	1988
Vrac cristallin (92/99 % C)	550-1100	550-1100	550-1100	550-1100	750-1500
Large écaille cristallin (85/90 % C)	630-1000	630-1000	630-1000	630-1000	820-1300
Écaille moyenne cristallin (85/90 % C)	490- 860	490- 860	490- 860	490- 860	770-1120
Petite écaille cristallin (85/90 % C)	300- 800	300- 800	300- 800	300- 800	540- 900
Poudre (75 µm) 80/85 % C	250- 275	250- 275	250- 275	250- 275	325- 360
Poudre (75 µm) 90/92 % C	410- 460	410- 460	410- 460	410- 460	520- 600
Poudre (75 µm) 95/97 % C	550- 750	550- 750	550- 750	550- 750	770-1000
Poudre (75 µm) 97/99 % C	750-1000	750-1000	750-1000	750-1000	1000-1300
Poudre amorphe 80/85 % C	175-350	175-350	175- 350	175- 350	220- 440

Tableau 5 : Evolution des prix CIF des variétés de graphite (en \$ US par tonne) depuis 1984

Pendant de nombreuses années, le graphite a été négocié comme un article spécialisé, sur la base de spécifications convenues entre l'acheteur et le fournisseur. Récemment, dans le domaine des réfractaires, le graphite est devenu une matière première dont les variations de prix reflètent les variations de qualité, les acheteurs changeant fréquemment de fournisseur, à la recherche du meilleur rapport qualité/prix.

La consommation de graphite naturel dans le monde s'est accrue régulièrement depuis quelques années, en particulier du fait de l'industrie des réfractaires. Cette tendance devrait se maintenir dans le futur grâce au développement de nouveaux champs d'utilisation du graphite, dans la céramique notamment.

### III.3 - Production mondiale

Moins de vingt pays fournissent l'essentiel de la production mondiale de graphite naturel, tout type confondu. Le tonnage produit se situe dans une fourchette entre 550 000 T et 650 000 T dont la moitié provient d'U.R.S.S. et de Chine, ce dernier pays étant exportateur.

Le tableau 6 montre l'évolution de la production mondiale depuis 1983 :

PAYS	1983	1984	1985	1986	1987
R.F.A.	12 000	12 400	12 800	13 200	13 600
Autriche	40 418	43 789	30 764	36 167	39 391
Tchécoslovaquie	26 666	27 000	35 000	25 254	-
Norvège	5 063	10 067	2 684	-	-
Roumanie	12 600	12 400	12 000	12 000	12 000
U.R.S.S.	80 000	80 000	82 000	83 000	84 000
Turquie	4 805	-	-	3 586	11 760
Madagascar	13 496	14 155	14 700	16 188	13 168
Zimbabwe	19 562	12 334	10 450	15 004	13 530
Mexique	44 327	41 529	35 378	37 780	37 000
Brésil	27 636	32 650	43 664	47 000	-
Birmanie	272	234	200	200	-
Chine	185 000	185 000	185 000	185 000	185 000
Inde	42 778	39 106	33 586	40 483	26 864
Corée du Nord	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000
Corée du Sud	33 266	58 563	71 479	97 218	99 765
Sri Lanka	5 768	5 768	7 472	7 453	9 400
TOTAL	581 957	600 025	602 177	644 533	570 478

Tableau 6 : Evolution de la production mondiale de graphite naturel (en tonnes)  
(Source : Industrial Minerals, 1988)

### III.4 - Quelques pays producteurs

(Aucune donnée récente n'est disponible sur l'U.R.S.S. premier producteur mondial).

#### III.4.1 Chine

La production de graphite se localise dans quatre provinces du Nord (fig. 3) :

- La province de Shandong, la plus importante et la plus ancienne région productrice de graphite de Chine, avec une production annuelle de 60 000 T à partir de trois mines.
- La province d'Heilongjiang : trois mines situées près de la frontière sino-soviétique produisent environ 30 à 35 000 T/an de graphite.
- La province de Shanxi : 2 mines fournissent environ 6 000 T/an de graphite dans le nord de la province.
- La Mongolie Intérieure : produit de 8 000 à 10 000 T/an en une seule mine.

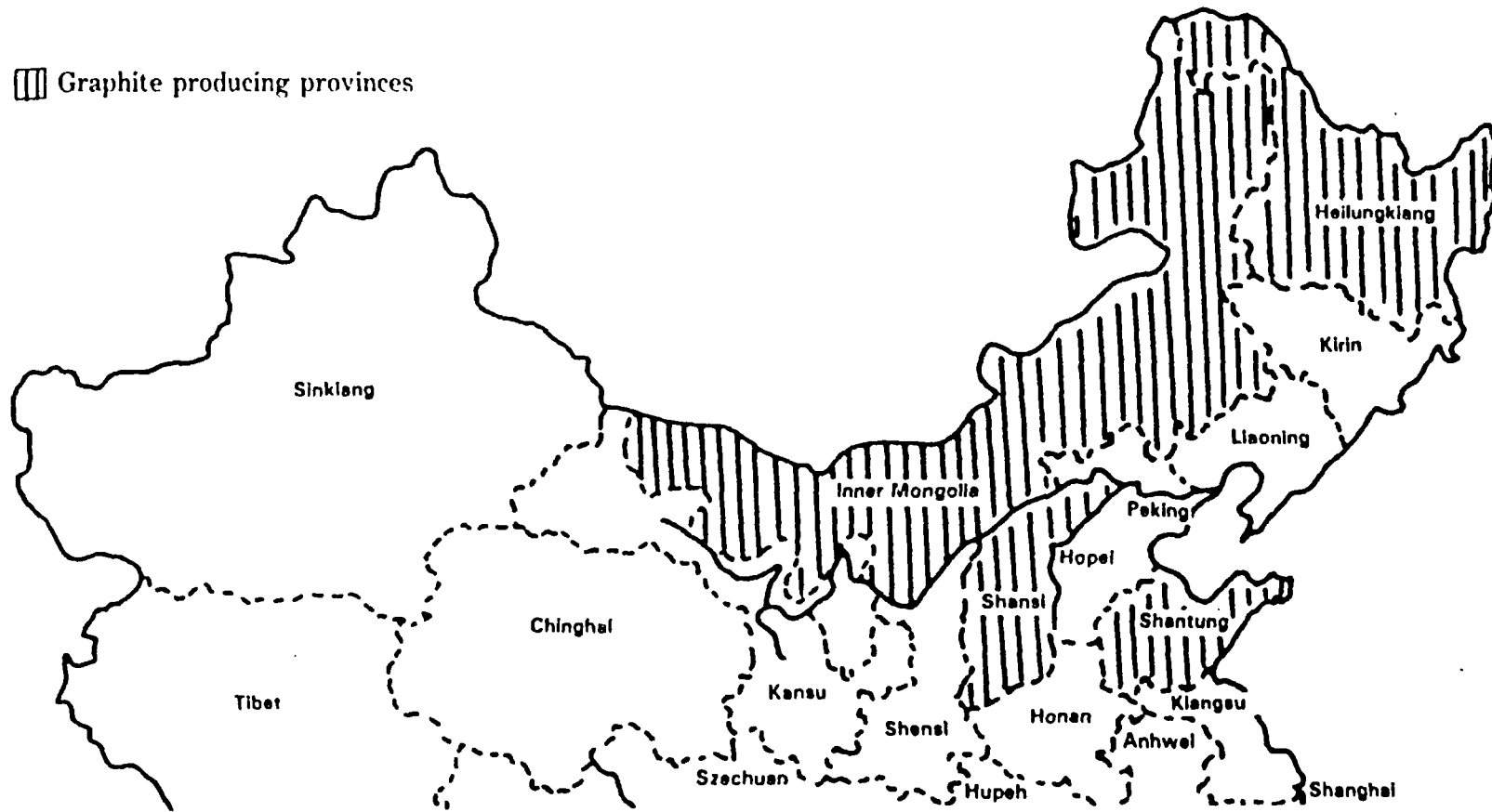
La Chine représente environ 30 % de la production mondiale de graphite naturel. Le graphite produit est essentiellement du "flake graphite" à teneur en carbone oscillant entre 70 et 90 %.

#### III.4.2 Sri Lanka (fig. 4)

Sri Lanka produit du graphite de haute qualité depuis 1834.

Le minerai se présente en veines de plusieurs centaines de mètres de long pour une épaisseur atteignant 3 m. L'encaissant est constitué de roches métamorphiques (gneiss et micaschistes) d'âge archéen entrecoupées de granite, pegmatites et pyroxénites ; toutes ces roches contiennent également du graphite dispersé qui peut constituer jusqu'à 10 % de la roche en place.

Le graphite est généralement pur, la gangue stérile étant constituée le plus souvent de lentilles silicifiées de roches constitutives des éponges, de quartz et, plus rarement, de calcite. Les veines de graphite sont très irrégulières et présentent une succession de serrées et de renflements ; les cristaux de graphite sont sous forme de faisceaux d'aiguilles de 7 à 10 cm de long, disposés parallèlement aux éponges des veines ; la minéralisation, dont la genèse n'est toujours pas élucidée, est indépendante du type de la roche encaissante. La texture du graphite est très variable, ainsi que sa dureté et sa pureté : de façon générale, on exploite du graphite cristallin en moucheture et du graphite amorphe.



(Source W. B. Hill - China, a source of flake graphite for the refractories industry, Proceedings of the 7th Industrial Minerals International Congress, Monte Carlo, 1986)

Fig. 3 : Provinces productrices de graphite en Chine

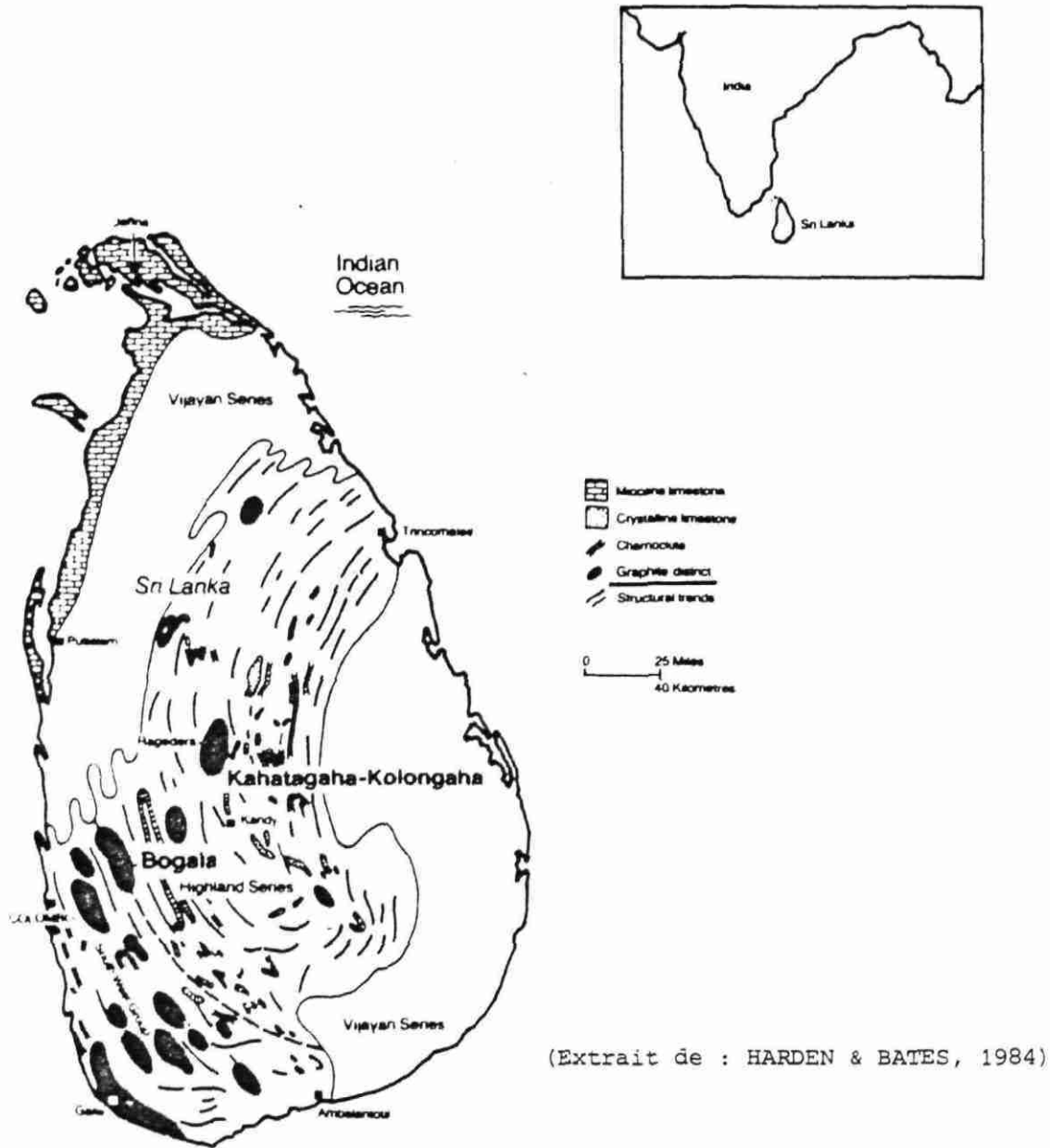


Fig. 4 : Localisation des gisements de graphite de Sri-Lanka



La production totale de graphite de Sri Lanka (9 400 T en 1987) provient de 2 mines situées dans la partie centrale du Sud de l'île (fig. 4).

#### III.4.3 Madagascar (fig. 5)

L'importance de Madagascar en tant que producteur de graphite ne tient pas tant au tonnage extrait (de l'ordre de 13 600 tonnes en 1987 - voir tableau 6) qu'à l'exceptionnelle qualité du minerai produit depuis 1907. 5 mines produisent du graphite de pureté, d'épaisseur et de résistance uniforme, le long d'une bande de terrains de 400 km de long environ. Le minerai se trouve en couches de 2 m à 20 m d'épaisseur avec une teneur de 3 à 10 % en graphite. L'extraction, à ciel ouvert, se concentre dans la partie superficielle altérée où le graphite est dispersé dans une matrice kaolinique. Il est concentré jusqu'à 85 - 90 % par simple flottation.

#### III.4.4 Indes

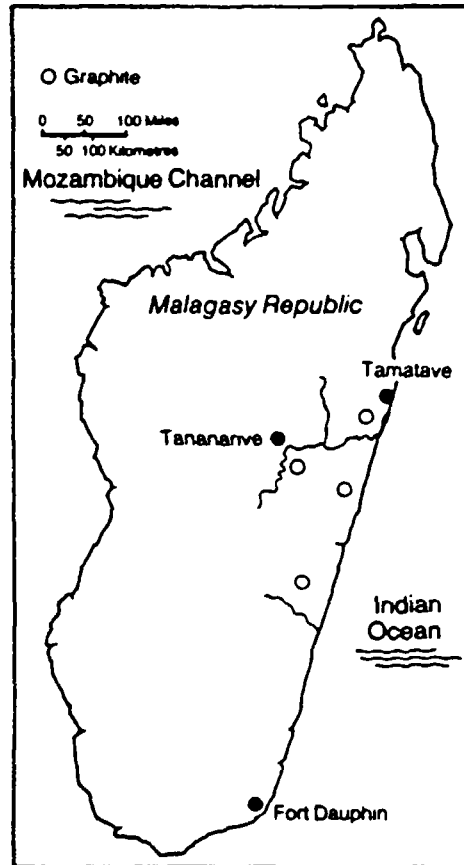
Les Indes se situent en troisième rang mondial des producteurs, après l'U.R.S.S. et la Chine, grâce à ses vastes réserves. La production est concentrée dans les états d'Andhra Pradesh, Bihar, Gujarat, Tamil Nadu, Rajasthan et Orissa.

Les roches encaissantes appartiennent au complexe archéen de la péninsule, et se composent de roches métamorphiques appartenant au faciès charnockitique, avec des schistes et gneiss à sillimanite/grenat, granulite et quartzite. Le graphite, cristallin, est soit disséminé, soit concentré en veines et lentilles disposées en échelon ou parallèles à la direction de foliation régionale. Le graphite est intimement associé à des filons de quartz ou de pegmatites, ce qui constitue un guide de prospection précieux.

#### III.4.5 Autriche

En dehors de l'U.R.S.S., le plus grand producteur européen de graphite est l'Autriche.

Les gisements de graphite, se situent en Styrie (Steiermark) et en Basse Autriche. En Styrie, le graphite résulte du métamorphisme alpin de couches de charbons encaissées dans des ardoises et du calcaire ; le pourcentage de carbone va de 40 à 88 %. En basse Autriche, en rive gauche du Danube à l'Ouest de Vienne, le graphite se trouve à l'état cristallin et amorphe dans des ardoises graphiteuses intercalées dans des gneiss et des micaschistes. Le produit est plus dur et mieux cristallisé qu'en Styrie.



(Extrait de : HARDEN & BATES, 1984)

Fig. 5 : Le graphite à Madagascar

#### III.4.6 République Fédérale d'Allemagne

Une seule mine est active, en Bavière, à Kropfmühl près de Passau, près de la frontière Autrichienne. Le graphite se trouve en 20 couches plissées, de 0,30 m à 1,50 m d'épaisseur et intercalées dans des marbres et des gneiss. La zone minéralisée fait environ 150 m d'épaisseur et est très altérée. Le contenu en graphite est de 10 à 30 %.

#### III.4.7 Tchécoslovaquie

Le graphite est produit en Bohême du Sud et en Moravie du Nord. En Bohême, le graphite, cristallin, est localisé dans une série de gneiss, quartzites et carbonates d'âge précambrien. Les veines sont très déformées et les concentrations économiques sont localisées dans le coeur de plissements, sous forme de lentilles massives.

#### III.4.8 Mexique

Les gisements de graphite amorphe de l'état de Sonora, Ouest Mexique, découverts au siècle dernier, sont les plus importants du continent américain. Le graphite se situe en sept couches, fortement pentées, intercalées dans un grès d'âge triassique, lui-même fortement plissé et intensément recoupé par des dykes, sills et lames de granite blanc. Les lits de graphite, du fait de la tectonique, sont boudinés et, par endroit, décalés par des failles ; leur épaisseur moyenne est de 2,80 à 3 m avec des surépaisseurs locales dues à la tectonique de l'ordre de 8 m.

Des gisements de graphite cristallin situés dans l'état d'Oaxaca (s.w. de la ville de Mexico) ont été récemment mis en exploitation.

### III.5 - Préparation et traitement

Chaque gisement de graphite ayant ses caractéristiques propres, il en résulte que les chaînes de préparation sont spécifiques à chaque exploitation. Néanmoins, elles sont toutes basées sur la flottation, et ce procédé est devenu standard pour la préparation du concentré, en particulier dans le cas de minerais à graphite disséminé.

En règle générale, avant la flottation, le graphite est enduit d'une huile légère (kérosène par exemple) pour faciliter l'opération. A l'issue de la flottation, une table de concentration est parfois utilisée pour produire des qualités à haut pourcentage de carbone.

Dans tous les cas, tout au long du circuit de traitement, grand soin est pris de maintenir constante la granulométrie des particules de graphite, ce facteur étant déterminant pour les différentes utilisations du produit et sa commercialisation.

## IV - UTILISATIONS

### IV.1 - Industrie réfractaire

Le secteur d'utilisation principal du graphite est l'industrie des réfractaires avec une très large variété de produits allant de la brique au creuset ; depuis une vingtaine d'années, deux innovations majeures dans l'industrie des réfractaires ont été l'introduction et l'utilisation de plus en plus répandue de briques au magnésium - carbone dans la garniture des hauts - fourneaux et l'utilisation de plus en plus fréquente de réfractaires à alumine - graphite pour les coulées continues.

En fonderie, le graphite est utilisé comme revêtement réfractaire, mélangé à un liant (argile réfractaire, mica, sable, etc.) ; il empêche le métal d'attacher aux parois du moule, facilitant ainsi le démoulage des mattes après refroidissement.

### IV.2 - Autres utilisations

Parmi les principaux usages autres que réfractaires, citons les garnitures de freins (en substitution à l'asbeste), les piles électriques, charbons et brosses pour l'industrie électrique, etc.

Sous forme de poudre, le graphite est utilisé comme lubrifiant ou comme revêtement conducteur d'électricité.

L'usage du graphite dans la fabrication des mines de crayon est en déclin.

Le tableau 7 résume les principales utilisations et les spécifications requises pour chacune d'entre elles (d'après A. RUSSELL, 1989).

Usages	% Carbone	Granulométrie	Remarques
Fonderie (amorphe)	40 - 70	75 $\mu\text{m}$ - 53 $\mu\text{m}$	Sulphides nuisibles ; quartz et micas favorables
Creusets	80 - 90	> 150 $\mu\text{m}$	Graphite cristallin, grande "moucheture"
Briques	90 - 97	212 - 150 $\mu\text{m}$	Brique réfractaire haute qualité
Briques magnésium-carbone	87 - 90	710 à 150 $\mu\text{m}$	Utiliser des mouchetures de graphite dont le rapport longueur/largeur est de 20/1 - couches < 20 %
Briques alumine - graphite	> 85	560 à 150 $\mu\text{m}$	
Garnitures de freins	min. 98	75 $\mu\text{m}$	Un mélange naturel/synthétique de proportions 60/40 est parfois utilisé
Piles alcalines	min. 98	75 $\mu\text{m}$ jusqu'à 5 $\mu\text{m}$	Graphite naturel ou synthétique pur avec impureté tolérée telles que Cu, Co, Sb, As
Brosses	99	150 - 53 $\mu\text{m}$	Exige moins de 1 % d'impuretés en particulier de silice
Agglomérés	98 - 99	5 $\mu\text{m}$	Naturel ou synthétique
Lubrifiants	98 - 99	106 - 53 $\mu\text{m}$	
Enduits conducteurs	50 - 55		Peut contenir jusqu'à 20 - 25 % de silice

Tableau 7 : Utilisations et spécifications du graphite

## V - GRAPHITE DE SYNTHESE

### V.1 - Fabrication

Ce produit, également connu sous le nom d'électro-graphite, est obtenu par la graphitisation d'un coke de pétrole (résidu de distillation d'hydrocarbures liquides contenant 95 % de carbone). Le coke, mélangé à un liant à base de goudron de charbon et à une petite quantité d'huile, est chauffé puis extrudé. Le produit ainsi obtenu est soumis à une température de 800 à 1 000 °C pour transformer le liant en coke solide et permettre le retrait. Le coke résultant de cette opération est à nouveau imprégné de goudron ou de bitume pour en réduire la porosité et la graphitisation est complétée dans un four électrique, entre 2 600 et 3 000 °C, ce qui a pour effet de graphitiser le carbone du liant.

### V.2 - Utilisations du graphite synthétique

Le graphite synthétique ayant plusieurs propriétés et caractéristiques différentes de celles du graphite naturel, ces deux produits ont des utilisations et des marchés séparés. En règle générale, le graphite synthétique est plus pur et a une cristallinité plus basse que son homologue naturel : ces caractères le rendent propres à la fabrication d'électrodes de fours électriques : cette utilisation représente les trois - quarts de la consommation actuelle du graphite synthétique.

Il est également utilisé comme modérateur et réflecteur dans les piles de centrales nucléaires et, sous forme de fibres de carbones, il est présent dans un vaste éventail de produits (depuis l'aéronautique jusqu'aux raquettes de tennis !)

### V.3 - Production et marché

La production mondiale de l'ordre de 1,5 à 2 millions de tonnes, est largement concentrée dans les pays industrialisés sans source domestique de graphite naturel : l'Amérique du Nord (U.S.A. et Canada) compte pour 30 % de la production totale suivie de l'Europe de l'Ouest (28 %) et du Japon (23 %) (HARDEN & BATES, 1984).

La France, en 1987, a importé 14 801 tonnes de graphite synthétique (pour une valeur de 9 116 000 FF) et en a exporté 6 530 T, pour une valeur de 156 132 000 F (Sources : Statistiques du Commerce Extérieur de la France - 1987).

## REFERENCES

- HARDEN P.W. & BATES R.L. - 1984 - "Geology of the non-metallics" - Metal Bulletin inc. edit., New-York - 1 vol. de 329 p., 98 fig.
- GRAFFIN D.J. - 1975 - "Graphite" in LEFOND S.J. edit. "Industrial minerals and Rocks 4th edition" - A.I.M.M.P.E. edit, MUDD Series, pp. 691 - 705.
- RUSSELL A. - 1988 - "Graphite - Current short falls in flake supply" - Industrial Minerals, New-York, n° 255, pp. 23 - 43.
- Van THOOR edit - 1971 - "Materials & Technology - Vol. II : non-metallic Minerals and Rocks" - Longman - J.H. De Bussg edit., Amsterdam, 1 vol. de XXVIII + 828 p.

SOURCES :

- STATISTIQUES DU COMMERCE EXTERIEUR DE LA FRANCE - Importations/exportations de 1982 à 1987 - Editées par le Ministère de l'Economie et des Finances.