

STRUCTURES ET PROPRIETES PHYSIQUES

Les propriétés physiques des matériaux sont des conséquences de leur structure au niveau moléculaire ainsi que de leur arrangement dans l'espace. A l'heure actuelle, la plupart des progrès technologiques importants sont liés à l'amélioration des propriétés des matériaux par une modification de leur structure. Nous considérons ici le cas du carbone.

1. L'élément carbone

Le carbone est un élément très peu abondant dans l'écorce terrestre, où il est classé 19^{ème} (0,2% en masse). Il doit son importance au fait qu'il forme à lui seul plus de composés que tous les éléments réunis car il peut se lier à d'autres atomes de carbone pour former des chaînes et des cycles complexes. Les composés du carbone sont innombrables, ce qui a conduit les chimistes à créer un domaine particulier pour les étudier : la Chimie Organique.

Le carbone est un élément absolument nécessaire à l'existence des êtres vivants et à la synthèse de très nombreuses molécules dans l'industrie chimique. Dans la classification de Mendelèïev, il se trouve sur la deuxième ligne, en sixième colonne, et porte le numéro atomique $Z = 6$.

Dans la nature, le carbone existe sous trois formes allotropiques (on appelle formes allotropiques d'un élément des formes qui diffèrent par la façon dont les atomes sont liés): amorphe (suie), graphite et diamant. Les scientifiques ont cependant réussi à créer de nouveaux types de carbone, les fullerènes et les nanotubes, dont les propriétés diffèrent de celles du carbone naturel. Nous allons donc ici étudier en détail cet élément et ses différentes formes.

2. Le graphite

C'est le composant le plus important des mines de crayon. Il se présente comme un solide noir et brillant. Il peut être facilement rayé à l'ongle. Chimiquement, le graphite est du carbone pur.

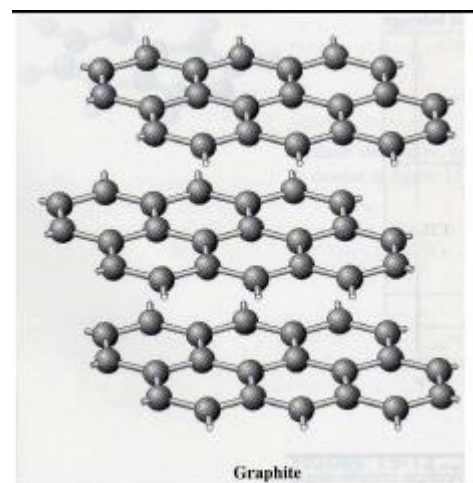
Microscopiquement, le graphite présente une structure en feuillets parallèles:

- dans chaque feuillet, les atomes de carbone sont liés par des liaisons covalentes formant une suite d'hexagones, rappelant les alvéoles d'une ruche. La distance entre chaque atome de carbone est $d = 0,14 \text{ nm}$.

- les feuillets sont empilés les uns sur les autres avec un léger décalage (voir schéma ci-contre), comme les feuilles d'un livre. La distance entre les feuillets est en moyenne de $D = 0,335 \text{ nm}$.

Il existe des liaisons faibles (type Van der Waals) entre les feuillets. Dès que l'on exerce une contrainte mécanique, les feuillets glissent les uns par rapport aux autres et, éventuellement, ils se séparent. Ceci explique la friabilité du graphite et ses propriétés lubrifiantes.

Curieusement, chaque atome de carbone ne forme que trois liaisons covalentes donc possède un doublet non liant (ceci est inexplicable avec une représentation de Lewis). Les électrons de ces doublets non liants peuvent se déplacer; le graphite conduit donc le courant électrique. La mobilité des électrons est aussi responsable du caractère déformable du graphite.



3. Le diamant

Cette forme allotropique du carbone est plus rare dans la nature. Le diamant se présente sous forme de cristaux transparents et brillants. C'est la substance la plus dure connue: on l'utilise comme abrasif durable. C'est également du carbone pur.

Première S

Dans le diamant, les atomes de carbone sont unis par des liaisons covalentes. Chaque atome est uni à 4 voisins par une simple liaison. La distance entre 2 atomes voisins est 0,154 nm.

Cet important réseau de liaisons covalentes et la particularité de la liaison carbone-carbone sont responsables de la dureté du diamant. La liaison carbone-carbone est apolaire et le faible nombre d'électrons de l'atome de carbone (6) engendre peu de répulsions électrostatiques entre les atomes. La liaison carbone-carbone du diamant est extrêmement forte.

Le diamant est un isolant mais c'est un excellent conducteur thermique. La conduction thermique d'un matériau est liée à la capacité qu'ont les atomes ou les molécules à transmettre une vibration d'un bout à l'autre de l'échantillon. Grâce au solide maillage de liaisons covalentes, la vibration d'un atome de carbone dans une partie chaude du cristal est rapidement transmise aux parties froides éloignées.

Les bijoutiers exploitent les propriétés optiques particulières du diamant: indice de réfraction élevé, excellente transmission de la lumière depuis l'infra-rouge jusqu'à l'ultra-violet.

4. Les fullerènes

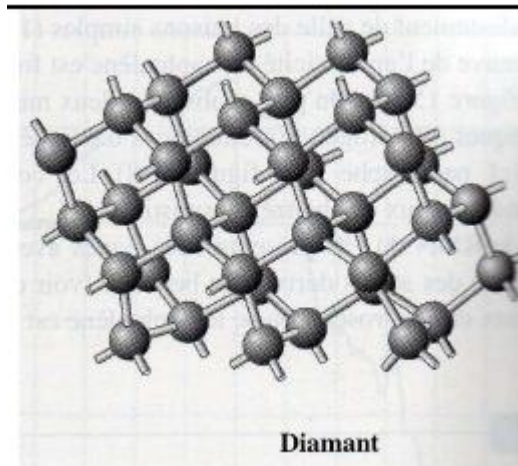
En vaporisant du graphite avec un laser on obtient des molécules de carbone de formule C_n , où n peut prendre diverses valeurs telles que 44, 50, 58, 60, 70 ... et que l'on a appelées *fullerènes*. La plus intéressante correspond à C_{60} .

La molécule C_{60} est une molécule creuse en forme de ballon de football. Son diamètre est d'environ 1 nm. Les 60 atomes de carbone forment un assemblage de 20 hexagones et 12 pentagones. Comme dans le graphite, chaque atome de carbone est relié à 3 autres atomes de carbone par des liaisons covalentes.

On arrive désormais à réaliser des cristaux de fullerène, nommés *fullerite*. Dans ces cristaux, les molécules de C_{60} sont liées entre elles par des liaisons de Van der Waals.

Le principal intérêt de ces molécules est leur forme creuse. L'intérieur d'une molécule C_{60} est assez grand pour retenir un atome d'un autre élément.

Les propriétés des fullerènes sont encore mal connues.



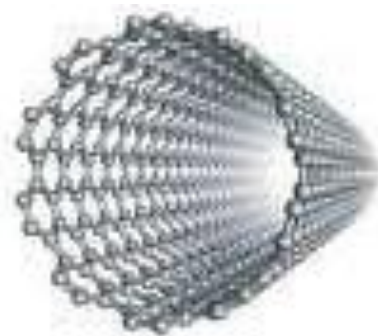
Fullerène C60

5. Les nanotubes de carbone

Découverts en 1991, les nanotubes de carbone sont des macromolécules cylindriques uniquement composées d'atomes de carbone.

La paroi du tube est constituée d'un (nanotube monoparoi) ou de plusieurs (nanotube multiparoi) feuillets de graphite enroulés en cylindre. Le diamètre d'un nanotube monoparoi est de l'ordre de un nanomètre. Celui d'un nanotube multiparoi est de quelques dizaines de nanomètres. La longueur d'un nanotube peut atteindre le micromètre et même le millimètre. La force de la liaison carbone-carbone est responsable de la grande résistance à la traction des nanotubes. Une corde de nanotubes serait 100 fois plus résistante qu'une corde identique en acier bien que six fois plus légère et bien plus flexible.

Les propriétés électriques des nanotubes dépendent de la géométrie de l'enroulement. Ils peuvent être de bons conducteurs électriques (comme les métaux) ou des semi-conducteurs (très utiles pour la réalisation de composants électroniques).



Nanotube de carbone

QUESTIONS:

Répondre aux questions suivantes après avoir lu le texte. Le lien ci-dessous peut aussi être utile pour répondre aux questions:

<http://videotheque.cnrs.fr/index.php?urlaction=docListe> (recherche => nanotube)

Visionner le film en ligne sur les nanotubes de carbone.

- 1°) Donner la configuration électronique de l'atome de carbone.
- 2°) Combien de liaisons covalentes un atome de carbone peut-il engager?
- 3°) Trouver un autre élément que le carbone qui présente plusieurs variétés allotropiques.
- 4°) Qu'est ce qu'un matériau amorphe?
- 5°) Expliquer l'environnement tétraédrique du carbone dans le diamant.
- 6°) A quoi est due la conduction électrique dans un cristal solide?
- 7°) A quoi est due la conduction thermique dans un solide?
- 8°) Quelle est l'origine de l'appellation *fullerène*?
- 9°) Compléter le tableau suivant récapitulant les propriétés physiques et les utilisations possibles des diverses formes allotropiques du carbone (les cases grisées n'appellent pas de réponse)

Matériau	Graphite	Diamant	Fullerène	Nanotube de carbone
Propriétés mécaniques				
Propriétés électriques				
Propriétés thermiques				
Propriétés optiques				
Utilisations possibles				

- 10°) Expliquer la différence de propriétés électriques entre le graphite et le diamant.
- 11°) Expliquer ce qu'on entend par *nanotechnologie*. En quoi les recherches sur les formes allotropiques du carbone relèvent-elles de la nanotechnologie?