



L'ÉPONGE MAGIQUE

Depuis que l'homme s'est sédentarisé, il a dû affronter la « saleté » et s'en débarrasser. On trouve déjà des traces de savon dans des récipients datant de l'ancienne Babylone, et les thermes romains attestent de la nécessité de (se) nettoyer. Et de nos jours, ce n'est pas seulement dans le domaine privé que l'on doit lutter contre elle, mais aussi dans les domaines industriel ou scientifique.

Au cours des siècles, de multiples solutions domestiques (souvent appelées désormais remèdes de grand-mère) ont tenté de combattre la poussière, les taches et autres résidus, soit par balayage et combustion, soit par action chimique (dissolution des taches), soit par « décapage » mécanique (abrasion).

Un pas nouveau a été franchi avec la mise au point de « l'éponge magique ». En effet ce nouveau matériau nettoyant (le Basotect ®) a l'aspect extérieur d'une éponge. Mais lorsqu'on l'humidifie légèrement (avec de l'eau), il se révèle d'une efficacité remarquable, en gommant très facilement tout encrassement de surface, comme le ferait un très fin papier à l'émeri (ou un papier de verre).

QUEL EST DONC CE MATERIAU MIRACLE ?

Le constituant de base est la **mélamine** ou, plus exactement, la **mélamine-formaldéhyde**, une résine connue depuis plusieurs décennies. Une résine désigne un produit polymère (naturel ou synthétique) qui est le point de départ pour fabriquer des matières plastiques. Elle peut être thermoplastique (se ramollit réversiblement au chauffage) ou thermodurcissable (durcit sous l'action de la chaleur de façon irréversible).

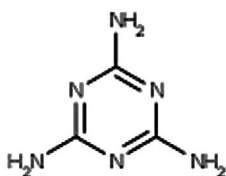


Fig. 1 - Mélamine

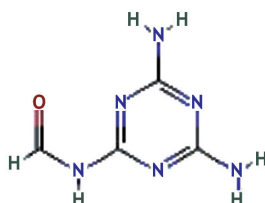


Fig. 2 - Mélamine-formaldéhyde



Fig. 3 - Cuillère en mélamine

La mélamine-formaldéhyde (sigle MF) fait partie des résines thermodurcissables. Elle est obtenue par polycondensation (voir Annexe) d'un monomère tel que la mélamine avec un comonomère, le formaldéhyde. Elle a été mise au point dans les années 1930 et présente des propriétés remarquables de résistance à la chaleur, à la lumière, aux produits chimiques, à l'abrasion et au feu. C'est pourquoi elle a connu un développement considérable dans les années 50.

Son principal dérivé, connu sous le nom commercial de formica (censé « libérer la ménagère »), a été très largement utilisé dans les cuisines, cafés, restaurants... pour sa résistance et sa grande facilité d'entretien.

D'autres applications importantes, auxquelles la mélamine (qui remplaçait dans ces usages la bakélite plus cassante) se prête bien, sont :

- La fabrication de gobelets, assiettes, couverts, prétendus incassables bien que ne l'étant pas car c'est un matériau dur mais cassant, et autres ustensiles largement utilisés pour les bébés, le pique-nique et l'obtention d'objets courants bon marché (cendriers, porte-clés...).
- La fabrication de petit matériel électrique (prises, interrupteurs...) et téléphones.

La mélamine est désormais souvent remplacée par l'ABS, copolymère d'acrylonitrile, de butadiène et de styrène. Ce composé présente une tenue encore meilleure aux chocs et à la température.



COMMENT FAIRE UNE PSEUDO-EPONGE DE CETTE MELAMINE, MATERIAU RIGIDE, DUR ET CASSANT ?

En transformant sa structure de polymère rigide en une mousse de même composition. Une mousse possède des cellules ouvertes, c'est-à-dire communiquant entre elles de manière à offrir une surface absorbante aussi grande que possible. Elle est obtenue en injectant un gaz lors de la fabrication, ce qui crée une multitude de petites cavités dans le matériau.

A la différence des mousses alvéolaires de polystyrène (polystyrène expansé), la mousse de mélamine forme un réseau aéré et tridimensionnel de filaments fins et durs, où des cellules sont interconnectées et **ouvertes sur l'extérieur**. L'ensemble offre une très grande surface d'accrochage aux particules à éliminer. Cette structure ouverte, formée lorsque l'on fait mousser la résine, rend le matériau souple et flexible dès qu'il est légèrement humidifié. Les filaments fins et durs permettent de pénétrer à l'intérieur des porosités du support à nettoyer, là où se nichent généralement les saletés.

Le résultat bénéficie tout à la fois :

- **des propriétés de la mélamine** : dureté, qualité d'abrasion, stabilité chimique, résistance à la chaleur,
- **de la structure de la mousse** : faible masse, mise en forme aisée, grande surface d'échange.

Et voilà pourquoi l'éponge est magique et peut (pratiquement) tout nettoyer avec un peu d'eau !

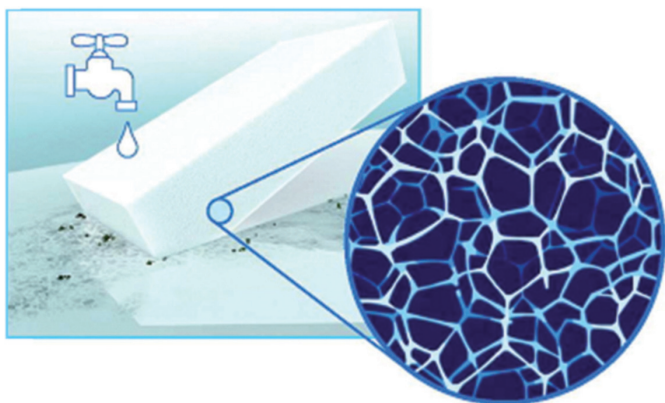


Fig. 4 - Eponge magique en mousse de mélamine
Basotect®, BASF

L'enlèvement des taches ou salissures se fait par simple frottement, comme avec un très fin papier abrasif et sans produit annexe (savon, détergent ou solvant...). L'éponge est efficace aussi bien sur les surfaces molles ou tendres (papier, textiles, bois, cuir) que sur des surfaces dures (céramiques, tuiles, métaux). Il faut cependant vérifier la bonne tenue au grattage du support à nettoyer.

Seul défaut, les propriétés abrasives ne sont pas éternelles car, à sec, le matériau est dur et cassant, donc assez fragile.

AUTRES APPLICATIONS

L'application initiale de la mousse de mélamine s'est faite dans le domaine de l'isolation phonique.

Comme tous les matériaux très dispersés et enfermant de l'air ou un gaz inerte, la mousse de mélamine est un matériau absorbant. Elle constitue un isolant phonique haut de gamme. Les cavités, petites et surtout nombreuses, lui confèrent un pouvoir absorbant exceptionnel. Sa résistance au feu (et aux agents chimiques) est un atout supplémentaire : en cas d'incendie, elle n'émet pas de fumées toxiques ; c'est pourquoi on l'utilise pour des applications industrielles ou dans des locaux recevant du public, par exemple dans les avions ou en milieu hospitalier.

Remarque :

En raison de la proportion élevée d'azote qu'elle contient, la mélamine a plusieurs fois été frauduleusement introduite dans des aliments, pour simuler un taux élevé de protéines (matières azotées), avec des conséquences dramatiques pour la santé.

ANNEXE

Les matières plastiques sont des macromolécules de synthèse, constituées par l'enchaînement de petites molécules unitaires, les monomères, formant des chaînes de longueur inégale.

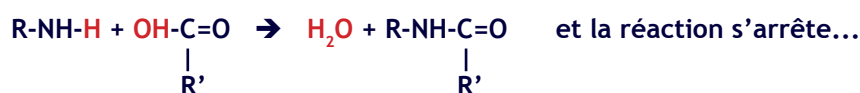
Les réactions de synthèse sont de 3 types :

- **polymérisation** : par ouverture de la double liaison des monomères et leur juxtaposition bout à bout sans élimination de résidu (exemple : polychlorure de vinyle, polyéthylène) ;
- **polycondensation** : réaction des monomères avec élimination d'un tiers-produit ;
- **polyaddition** : c'est une polycondensation sans élimination de tiers-produits (exemple : polyuréthanes).

Le composant de l'éponge appartient à la famille des aminoplastes, matières thermodurcissables obtenues par polycondensation avec élimination d'eau, de molécules comportant plusieurs fonctions aminées -NH_2 (ici la mélamine), avec le formaldéhyde et conduisant à un réseau tridimensionnel.

Pour une polycondensation entre une amine (R-NH_2) et un acide R'-COOH) on aura :

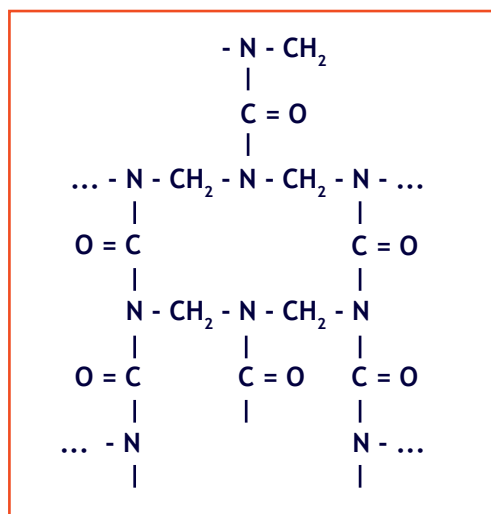
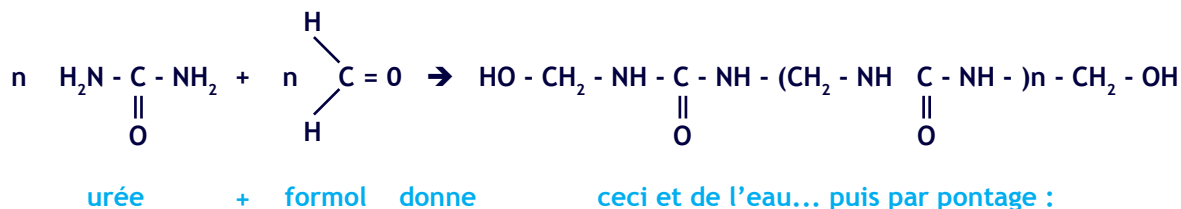
1 - Réaction de condensation avec élimination d'eau :



2 - Réaction de polycondensation :

Si le composé a deux fonctions identiques, la réaction peut continuer par les deux extrémités, voire dans les trois dimensions.

C'est le cas simple, illustré ici, de l'urée et du formol qui donnent une résine aminoplaste thermodurcissable, de la même famille que la mélamine (aminoplastes).



Résine urée-formol

PROPOSITIONS D'EXPERIENCES SUR L'EPONGE MAGIQUE

On illustre le thème de la matière à travers l'élimination des saletés et déchets, notamment ceux qui se déposent sur des surfaces. L'exemple retenu, celui des éponges absorbantes et abrasives, permet de mesurer des masses, des volumes (selon la forme géométrique des cavités du matériau éponge), de comparer la dureté de minéraux connus.

Les échanges transcrits ci-dessous, entre le professeur P et ses élèves E, sont donnés à titre indicatif pour illustrer les étapes possibles du travail de classe et doivent être adaptés à l'âge et au niveau de connaissance des élèves.

Remarque : on a écrit en italique les notions que le professeur peut aborder, sans toutefois que les connaissances et le vocabulaire spécifique correspondant soient à maîtriser et à retenir par les élèves.

I - MATERIEL REQUIS :

- divers objets en mélamine tels que couverts, gobelet, assiette, porte-clés, prise électrique, etc. apportés par les élèves,
- un ou 2 objets en bakélite comme un vieil interrupteur, une petite plaque de formica, apportés par les élèves,
- une éponge « magique », type « Basotect »,
- une éponge « classique », type « Spontex » apportée par chacun des élèves,
- une balance, type balance de cuisine à affichage numérique,
- du mica,
- un récipient plein d'eau, type petite cuvette ou cristalliseur,
- un jeu de construction type « DUPLO »,
- de la pâte à modeler,
- des piques en bois (types piques apéritif) de 2 longueurs différentes (65 mm et 150 mm),
- si possible, un jeu de tiges et boules magnétiques de marque Geomag Kids (44 pièces) à trouver sur Google shopping,
- quelques échantillons de divers plastiques,
- une règle millimétrée,
- une petite plaque de graphite,
- un tableau en ardoise, une craie,
- la liste des principales matières plastiques (à trouver sur l'annexe 2 de la fiche professeur sur « la Maison écologique »),
- une reproduction de la structure du carbone diamant,
- une reproduction de la structure du carbone graphite,
- le tableau des duretés de différents matériaux.

II - CONNAISSANCES ABORDEES :

- Les matières plastiques ou polymères, leur structure, leurs propriétés.
- Le matériau éponge, ses propriétés d'absorption.
- La dureté des matériaux, exemple du carbone diamant et du carbone graphite.

III - DUREE APPROXIMATIVE DE LA SEANCE COMPLETE : 1H30 À 2H

I - LES MATIÈRES PLASTIQUES OU POLYMERES. LEUR STRUCTURE. LEURS PROPRIÉTÉS

on illustre essentiellement la constitution des matières plastiques et leurs propriétés.

P : Notre éponge magique est constituée d'une matière plastique spéciale, très dure, appelée mélamine. Connaissez-vous d'autres matières plastiques ?

E : réponses diverses : polystyrène, nylon, tergal, « PVC », bakélite, polyéthylène, polypropylène, polycarbonate, etc.

P : oui. Ce sont tous des composés chimiques qu'on appelle « polymères ». Savez-vous de quels éléments ils sont constitués ?

E : réponses diverses.

P : les polymères sont essentiellement constitués de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. Ces éléments se combinent entre eux pour former une molécule qu'on appelle monomère. Puis cette molécule forme des liaisons avec ses voisines pour donner naissance à une molécule beaucoup plus grosse qu'on appelle polymère.

On peut en avoir une idée grâce à la construction que vous allez réaliser à partir d'un jeu de construction de type « Duplo », mais en n'utilisant que des objets identiques.

E : construisent un objet composé de 5 fois 5 petits « Duplo » et constatent qu'ils peuvent ainsi réaliser un ensemble aussi grand qu'ils le souhaitent à partir d'un seul petit et même élément.

P : vous obtenez ainsi un objet à deux dimensions que vous pourriez compléter dans une 3^e direction et ainsi obtenir un matériau très étendu dans toutes les directions. En prenant des monomères particuliers, on peut obtenir des polymères en forme de fibres, en forme de lamelles, en forme de sphères, etc. Et permet donc des applications variées.

P projette la liste des principaux polymères utilisés dans la vie courante, leurs applications et aussi leurs inconvénients possibles sur la santé et pose quelques questions aux élèves.

P : dans cette liste, on a oublié d'indiquer notre mélamine. Ce polymère ne contient que de l'azote, de l'hydrogène avec un peu d'oxygène. Elle a des propriétés remarquables de résistance à la chaleur, à la lumière, aux produits chimiques, à l'abrasion et au feu. Son principal dérivé est le formica. Avec la mélamine, on fabrique plein d'objets divers. Montrez-moi ce que vous avez apporté.

E : discutent sur les objets qu'ils ont apportés, soit en mélamine, soit en formica.

P : Que constatez-vous ?

E : ces objets sont durs et solides.

P : oui. Quelle est la différence entre un objet en formica et un objet en mélamine ?

E : l'objet en formica se casse plus facilement.

P : oui, vous avez raison. C'est pour cela que l'on fera surtout des objets en formica sous forme de plaques et des objets en mélamine pour toutes les autres formes.

II - LE MATÉRIAU ÉPONGE. SES PROPRIÉTÉS D'ABSORPTION

La description d'un matériau éponge permet d'aborder un calcul de masses et de volumes.

P : avant d'étudier la manière dont la mélamine pourra servir de matériau éponge, étudions les propriétés d'absorption de l'eau par une éponge classique. Vous disposez chacun d'une éponge classique neuve, donc sèche, qu'on utilise chez soi tous les jours. Que voyez-vous en regardant cette éponge ?

E : des trous, plus ou moins grands, plus ou moins réguliers.

P : Pouvez-vous mesurer la largeur de ces trous ?

E : oui, on trouve des largeurs voisines de 1 à 3 mm.

P : bien. On va supposer qu'en moyenne leur largeur est égale à 2 mm et qu'en plus ils ont la forme de petits cubes. Calculez leur volume.

E : le volume d'un cube de côté a est égal à $a \times a \times a$. Donc, en moyenne, le volume d'un trou est égal à $2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ mm}^3$

P : oui. Pouvez-vous les compter ?

E : non, ils sont trop nombreux et on ne voit pas ceux qui sont à l'intérieur de l'éponge.

P : oui. On va tout de même trouver un moyen d'évaluer leur nombre. Tout d'abord, votre éponge est-elle utilisable comme cela ?

- E : non ...
- P : pourquoi ?
- E : elle est sèche, dure, pas malléable ...
- P : comment faire pour s'en servir ?
- E : on la mouille.
- P : oui. Pesez-la d'abord à l'état sec, mesurez ses dimensions et calculez son volume, sachant qu'elle a la forme d'un parallélépipède.
- E : pèsent l'éponge sèche et mesurent son volume : longueur x largeur x épaisseur.
 masse éponge sèche : 15 g.
 volume : $1,5 \times 6,5 \times 9,5 = 92 \text{ cm}^3$.
- P : vous allez maintenant mouiller l'éponge, ensuite la presser fortement pour l'égoutter et la peser.
- E : pèsent l'éponge « humide » : 27 g.
- P : qu'en déduisez-vous ?
- E : l'éponge a absorbé $27 - 15 = 12 \text{ g}$ d'eau.
- P : oui. Pourtant, elle n'est qu'à l'état « humide ». Vous allez maintenant la gorger d'eau, puis la peser de nouveau.
- E : mouillent l'éponge au maximum et la pèsent : 85 g.
- P : où est l'eau ?
- E : dans les trous, qui doivent communiquer entre eux.
- P : oui, comme dans une galerie pleine d'alvéoles, c'est ce qui donne à l'éponge sa qualité d'absorbant. Pouvez-vous me dire combien l'éponge a absorbé d'eau ?
- E : $85 - 27 = 58 \text{ g}$.
- P : oui, car on ne doit pas tenir compte de l'eau qui était déjà dans l'éponge à l'état humide, puisqu'on ne peut plus l'enlever (sauf si on laissait sécher complètement l'éponge pour faire évaporer cette eau).
- P : comme 1 cm^3 d'eau pèse environ 1 g, pouvez-vous m'indiquer le volume d'eau absorbé par l'éponge ?
- E : oui, 58 g, donc 58 cm^3 .
- P : et maintenant, essayez de calculer le nombre de petites alvéoles contenues dans l'éponge.
- E : une alvéole a un volume de 8 mm^3 , l'éponge a absorbé 12 g d'eau, puis 58 g d'eau, donc en tout $58 + 12 = 70 \text{ g}$ d'eau, ce qui correspond à 70 cm^3 , ou $70\,000 \text{ mm}^3$.
 nombre de trous (ou d'alvéoles) : $70\,000/8 = 8\,750$.
- P : et le pourcentage de trous par rapport au volume de l'éponge ?
- E : la masse de la totalité de l'eau absorbée par l'éponge divisée par la masse totale de l'éponge mouillée vaut $70/85$, soit 82 %.
- P : vous voyez que l'éponge est essentiellement constituée de trous !
- P : revenons maintenant à notre mélamine. Comment fera-t-on pour en faire une éponge, alors qu'elle est extrêmement dure ?
- E : ?
- P : on va en faire une mousse, tout comme la mousse de polystyrène que vous connaissez bien. Pour cela, on injecte un gaz durant la préparation de la mélamine, ce qui crée une multitude de petits trous dans le matériau. Reprenez pour cela la construction « Duplo » que vous avez réalisée, et enlevez quelques « monomères » pour créer des trous.
- E : réalisent cette construction et s'aperçoivent que les alvéoles qu'ils ont ainsi créées n'empêchent pas l'ensemble de rester solide, mais permettent d'imaginer une structure identique à celle de l'éponge qu'ils viennent d'étudier.
- P : ainsi, la mélamine va fonctionner comme une éponge classique. On va l'humidifier préalablement, puis la passer sur la surface à nettoyer, sachant qu'elle reste très dure et pourra donc nettoyer des surfaces, ce qu'une éponge classique ne pourra faire.

III - LA DURETE DES DIFFERENTS MATERIAUX

On illustre essentiellement la notion de dureté des matériaux en les comparant les uns aux autres. La différence de dureté entre le carbone diamant et le carbone graphite est expliquée par référence à leur structure.

****La dureté d'un matériau, une notion relative**



P : de quoi se servaient les hommes préhistoriques pour découper la viande ou tailler des objets, fabriquer des armes ?

E : de grosses pierres dures, comme le silex.

P : oui. Dans la vie de tous les jours, connaissez-vous des matériaux très durs ?

E : du fer, une pièce de monnaie, du verre, un couteau, du diamant, de l'acier, etc.

P : et des matériaux très mous ?

E : de la craie, du plomb, de l'étain, du bois, etc.

P : on classe ces matériaux en 2 colonnes, les matériaux du quotidien et les matériaux « naturels », en indiquant pour chacun leur dureté par un chiffre allant de 1 (matériaux les plus mous) à 10 (matériaux les plus durs). Et on peut jouer alors à « qui raye qui ? » ... comme dans le jeu « feuille, ciseau, pierre » !

P : qui peut rayer le bois ?

E : la pierre, le fer, ...

P : le verre ?

E : le sable ou une pierre dure, le diamant, un clou, ...

P : les cambrioleurs le savent bien, puisqu'ils utilisent un diamant pour découper un carreau de verre et entrer dans la maison ! Et le fer ?

E : une lime en acier, plus dur que le fer, une scie diamantée, ...

P : comment peut-on classer les produits selon leur dureté ?

E : on prend un support et on regarde quel matériau le raye.

P : vérifiez ce qui raye le verre, le plastique, etc.

Matériaux « naturels »	Dureté	Matériaux du quotidien	Dureté
talc	1	crayon (graphite)	1 à 2
craie	3	ongle, bois	2
quartz (constituant du sable)	7	pièce de 1 centime	3
Pierre précieuse (topaze, saphir)	7 à 9	lame de couteau	5
carbure de silicium	9 à 10	verre	5,5
nitrure de bore	9 à 10	aiguille en acier	6,5
diamant	10	sable et pierre dure	7
		scie diamantée	9 à 10

P : sur le tableau des duretés, quel est le matériau le plus dur ?

E : le diamant.

P : oui. De quoi est constitué le diamant ?

E : ?

P : de carbone qu'on désigne par le symbole chimique C.

P : et le graphite ?

E : ?

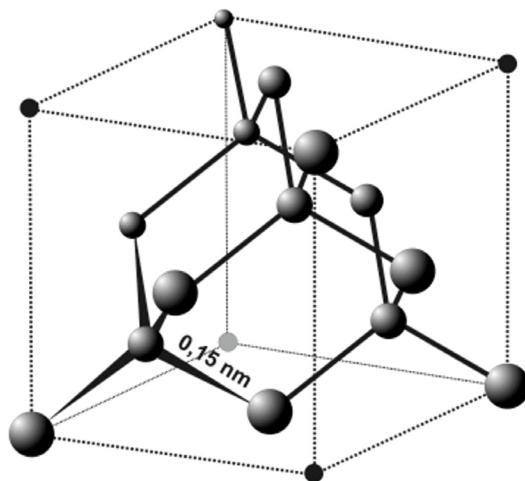
P : de carbone également, et pourtant vous observez que le graphite qui constitue la mine de vos crayons est classé parmi les matériaux les plus mous !

****On va essayer de comprendre la différence entre le carbone diamant et le carbone graphite.**

P : Tout composé est constitué d'un assemblage d'atomes qui sont plus ou moins liés les uns avec les autres. Si l'on simplifie, on peut représenter chaque atome par une boule de forme sphérique.

Dans l'arrangement de type diamant, chaque atome de carbone C est au centre d'un petit cube, et ses plus proches voisins se situent sur 4 des 8 sommets, à raison de 2 par face du cube. **P** montre le schéma du tétraèdre de carbone et demande à ses élèves de le reproduire eux-mêmes.

E : dessinent un cube dans l'espace et tentent de positionner les atomes de carbone. Ils peuvent également le représenter eux-mêmes à l'aide de billes en pâte à modeler (pour représenter les atomes) et de piques en bois (pour représenter les liaisons). On peut aussi utiliser le jeu Geomag Kids constitué de tiges magnétiques (pour représenter les liaisons) et de boules magnétiques (pour représenter les atomes).



P : oui. Quel est le nombre de liaisons autour de l'atome central ?

E : 4.

P : oui. Pour représenter le carbone diamant, il faudrait continuer ainsi dans tout l'espace. **P** montre le schéma de la structure diamant.

Les distances entre les atomes sont extrêmement petites. Ainsi, l'arête du petit cube est égale à 0,18 nanomètre. Qui peut dire ce que signifie nanomètre ?

E : un milliardième de mètre (un divisé par un milliard).

P : oui. Ainsi, l'arête du petit cube est égale à 0,18 milliardième de mètre ! La distance d entre 2 atomes voisins est égale à 2 fois la longueur de l'arête divisée par 1,732. Que trouvez-vous ?

E : $d = 0,154$ nanomètre.

P : oui. d s'appelle la longueur de liaison carbone-carbone. Pour le diamant, elle vaut 0,154 nanomètre. Plus une liaison est courte, plus elle sera difficile à rompre.

Dans l'arrangement de type graphite, les atomes de carbone ne sont pas liés entre eux comme dans le carbone diamant. C se place à chacun des 6 sommets d'un hexagone. Rappelez-moi ce qu'est un hexagone ?

E : une figure plane à 6 côtés égaux.

P : oui. Dessinez-la et placez un atome de carbone à chacun des 6 sommets.

E : dessinent l'hexagone et ses 6 atomes de carbone.

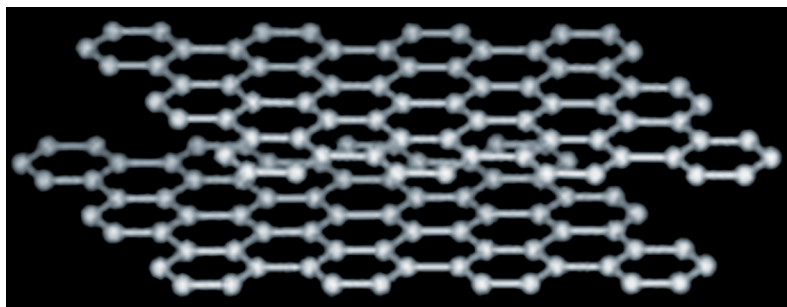
P : bien. Chaque atome de carbone est relié également à un troisième voisin, situé aussi au sommet d'un hexagone dans le même plan. Représentez cet assemblage.

E : dessinent le plan hexagonal. Ils peuvent également le représenter eux-mêmes à l'aide de billes en pâte à modeler (pour représenter les atomes) et de piques en bois (pour représenter les liaisons : une pique courte pour la liaison dans le plan, une tige longue pour la liaison perpendiculaire au plan). On peut aussi utiliser le jeu Geomag Kids constitué de tiges magnétiques (pour représenter les liaisons) et de boules magnétiques (pour représenter les atomes). On prendra une tige pour représenter la liaison carbone-carbone dans le plan hexagonal et un assemblage de 2 tiges pour représenter la liaison carbone-carbone perpendiculairement au plan hexagonal.

P : oui. On obtient ainsi un assemblage qui ressemble à un feuillet alvéolé. Cela vous rappelle-t-il quelque chose ?

E : par exemple, les nids d'abeille vus de dessus.

P : oui, exactement. Pour remplir tout l'espace, un feuillet de graphite se met au-dessus du premier, un autre en-dessous, et ainsi de suite. On obtient de cette façon un mille-feuilles de plans de nids d'abeille dans l'espace à 3 dimensions.



P : Dans le feuillet, combien de voisins possède l'atome de carbone ?

E : trois.

P : oui. On sait calculer la distance entre 2 atomes voisins, elle est égale à 0,142 nanomètre. Qu'en déduisez-vous par comparaison avec le carbone diamant ?

E : elle est plus courte dans le cas du graphite.

P : oui. La liaison entre les atomes de carbone est donc plus forte pour le graphite. Et pourtant, le graphite est beaucoup moins dur que le diamant ! On peut expliquer cela en constatant que la distance entre chaque plan de feuillets est très grande (environ 0,336 nanomètre) et donc que les liaisons entre feuillets seront beaucoup plus faibles. Peut-on en déduire une propriété particulière ?

E : ?

P : comme les liaisons entre feuillets sont faibles, les feuillets peuvent facilement glisser les uns par rapport aux autres. La dureté du graphite sera donc bien plus faible que celle du diamant. On utilise d'ailleurs le carbone graphite comme lubrifiant, pour faciliter le glissement entre des pièces d'acier beaucoup plus dures par exemple.

Pour simplifier, on pourra dire que dans le diamant le carbone possède 4 pattes courtes et de même longueur, tandis que dans le graphite le carbone possède 3 pattes courtes et une 4^e beaucoup plus longue, ce qui a pour effet de rendre l'édifice beaucoup moins solide...

P : connaissez-vous un autre composé naturel feuilleté qui se comporte comme le carbone graphite ?

E : le mica.

P : oui, vous avez raison. On voit bien que le mica, tout comme le carbone graphite, est constitué de feuillets, tout comme le carbone graphite, qui peuvent glisser les uns sur les autres, et qu'on peut séparer facilement.