

1 Le lotus : une surface auto-nettoyante

On parle de l'effet lotus, si la feuille d'une plante est superhydrophobe (qui n'aime pas du tout l'eau). C'est-à-dire que toute eau qui tombe sur une telle feuille perle tout de suite à sa surface.

Vidéo qui illustre cet effet :

https://www.youtube.com/watch?time_continue=7&v=isiC0oF



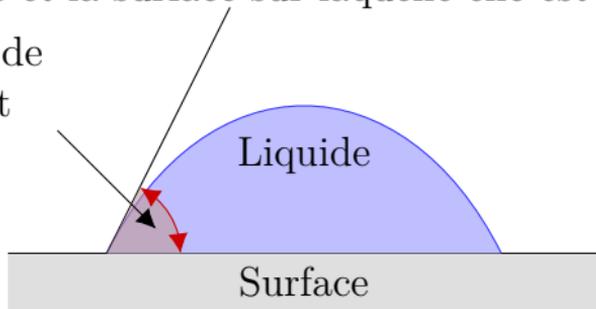
L'effet lotus a été découvert en 1976 par le biologiste allemand Wilhelm BARTHLOTT et est observable non seulement sur les feuilles de lotus, mais aussi sur des feuilles de capucine, de chou cabus, de salvinia (fougère aquatique), de ginkgo biloba, de chou-rave...

Comment l'effet lotus fonctionne-t-il ?

Une surface superhydrophobique, telle qu'elle se trouve sur la feuille de lotus, est caractérisée par un angle de contact entre la surface et l'eau égal (ou supérieur) à

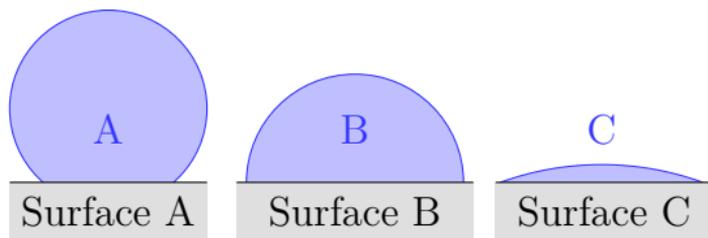
150°. Voici comment l'on mesure l'angle de contact entre une goutte et la surface sur laquelle elle est posée :

Angle de contact



Avec un angle aussi grand que 150°, seul 2 à 5 % de la surface de la goutte d'eau va être en contact avec la surface. Autrement dit, le mouillage de la surface est extrêmement faible.

Voici trois mouillages différents, de trois surfaces différentes :



- a. Classez les trois schémas A, B et C, en surface hydrophile, hydrophobe et superhydrophobe.

- b.** Classez les trois schémas A, B et C avec les angles : supérieur à 150° , entre 90° et 150° , et inférieur à 90° .

On remarque qu'une goutte d'eau est presque ronde sur une surface superhydrophobique. C'est cette caractéristique au niveau de la forme qui permet à l'eau de « glisser » aussi facilement sur une feuille superhydrophobe.

Un effet dû à la structure de la feuille

Voyons maintenant pourquoi une feuille de lotus est superhydrophobe.

Wilhelm BARTHLOTT observa la surface superhydrophobique des feuilles de lotus au microscope électronique à balayage (SEM). Voici ce qu'il y vit :

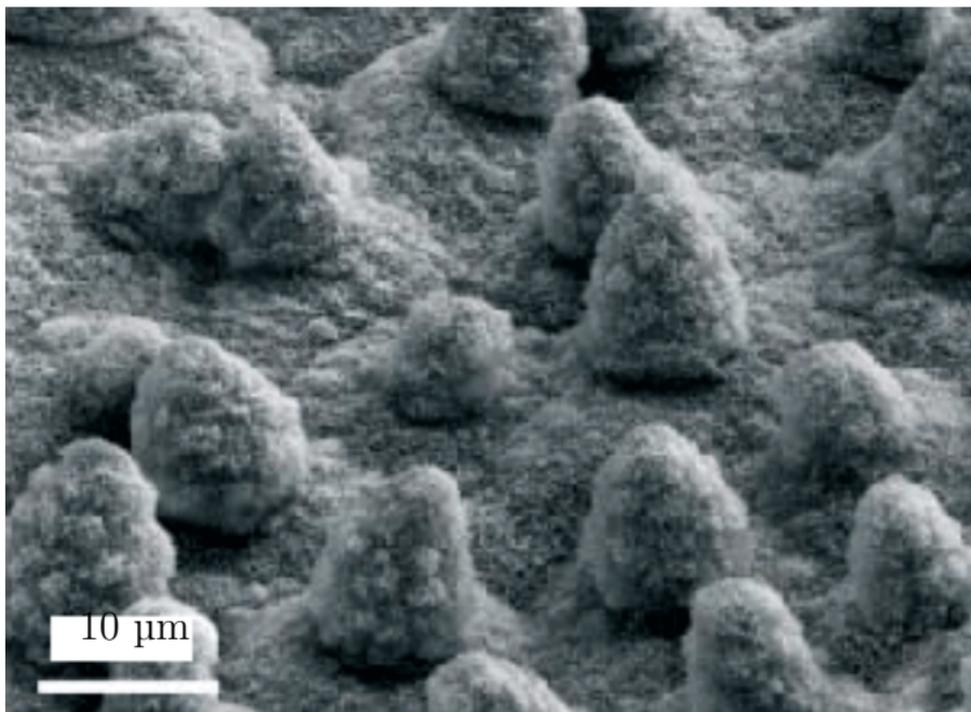


Photo : *Superhydrophobic and superhydrophilic plant surfaces : an inspiration for biomimetic materials*, Kerstin KOCH et Wilhelm BARTHLOTT.

Une structure microscopique vallonnée, formée de petites « collines » de quelques micromètres de haut. Wilhelm a augmenté le grossissement de son instrument, pour observer plus en détail : ces petites « collines » ont elles-même une structure nanoscopique rugueuse ! Chacune d'entre elles est recouverte de petites « bosses » :

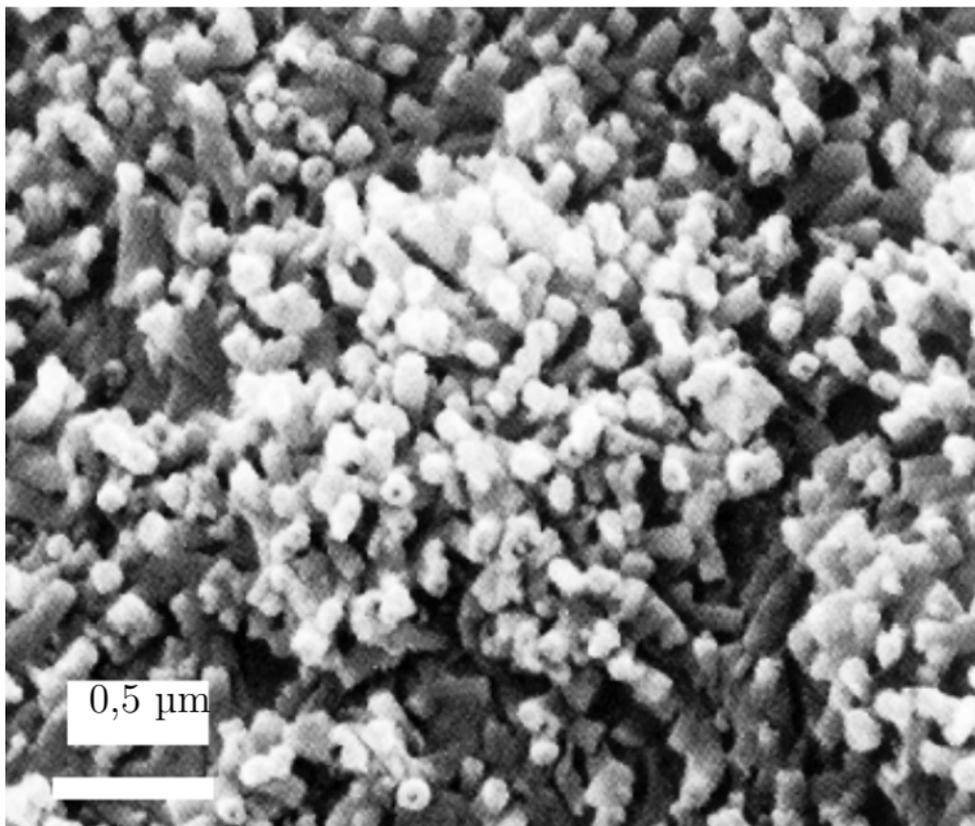


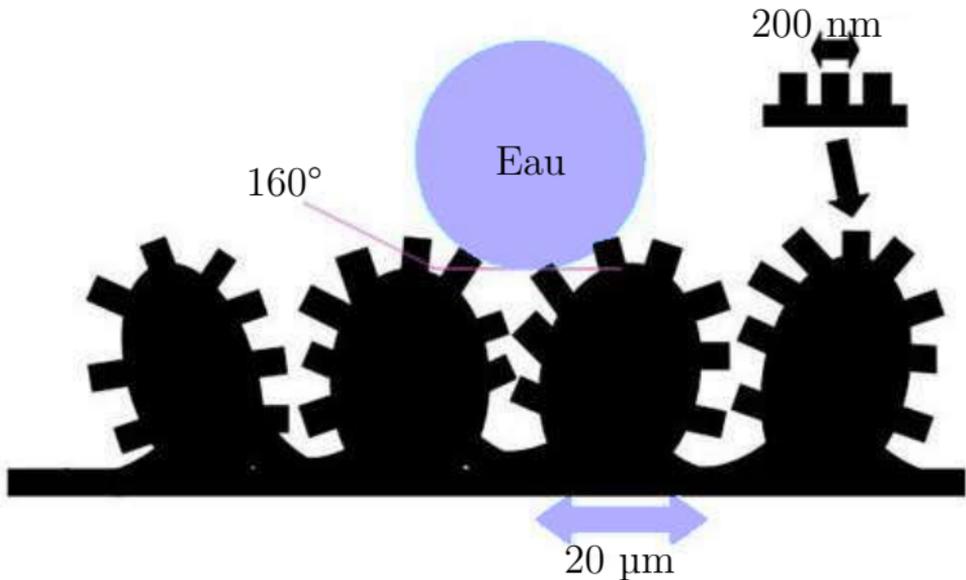
Photo : *Der Lotus Effekt*, Dr. T. ROSSMANN.

Ces « bosses » sont des cristaux de cire.

c. Soulignez les termes du texte qui indiquent l'ordre de grandeur des tailles des structures successivement observées.

- d. La cire est formée de longues chaînes carbonées. Sont-ce des molécules hydrophiles ? Lipophiles ? Amphiphiles ?

Voici un schéma résumant cette structure de la surface d'une feuille de lotus à deux échelles.



Cette double structure irrégulière mène à un angle de contact supérieur à 150° , donc à une superhydrophobie, qui caractérise l'effet lotus.

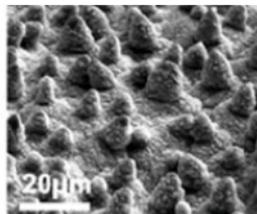
Ce magnifique exemple s'explique par des effets à trois

échelles différentes : la goutte d'eau, la surface de la feuille et les molécules qui la parsème :

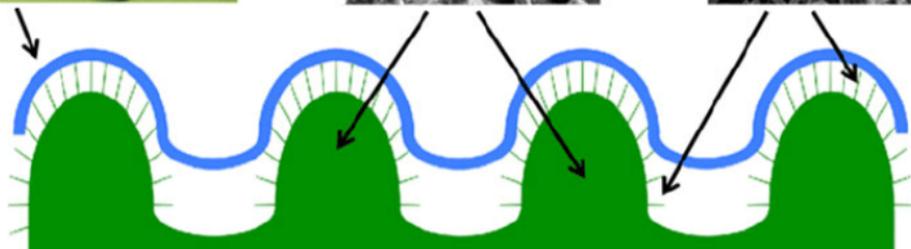
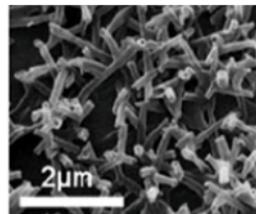
Macroscopique



Microscopique



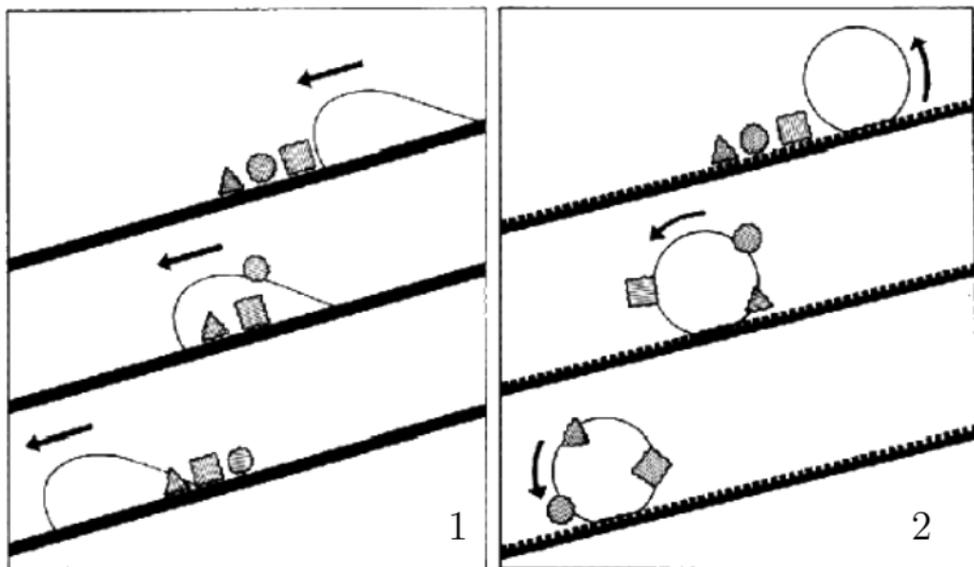
Nanoscopique



e. Indiquez les structures rencontrées à chaque échelle.

Quel est l'avantage pour la plante ?

L'effet lotus permet aux feuilles de rester propres !



Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces, 1996, W. BARTHOLOTT, C. NEINHUIS.

Sur le schéma 1, la surface est lisse, les particules (ou « saletés ») ne sont pas emportées, mais plutôt répandues sur la surface ;

Sur le schéma 2, la surface est rugueuse, les particules sont emportées par la goutte d'eau, car la force d'attraction entre celles-ci et la surface est inférieure à la force d'attraction entre celles-ci et la goutte d'eau.

Voici donc l'utilité de l'effet lotus : il rend une surface auto-nettoyante (il ne faut que de l'eau, sous forme de pluie par exemple pour garantir la propreté de la

surface)!

f . Quel est l'avantage, pour une plante, d'avoir des feuilles « autonettoyantes » ?

À l'échelle microscopique, une surface lisse n'est donc pas plus facilement nettoyable qu'une surface rugueuse. Étant donné que jusqu'à nos jours, jamais une plante ne discuta avec l'Homme des raisons de son évolution, on ne peut qu'émettre des hypothèses quant au fait que certaines plantes font usage de l'effet lotus, et d'autres pas :

- la photosynthèse pourrait être restreinte par tout dépôt de saleté sur la feuille, l'effet lotus y remédie ;
- les bactéries et autres agents pathogènes ne restent pas accrochés aussi facilement à la feuille quand il pleut, ils sont emportés par les gouttes d'eau.

Remarque

Le lotus sacré est connu pour sa pureté (à relier à sa propreté) depuis plus de deux mille ans en Asie. Dans le symbolisme bouddhique, le lotus représente la pureté du corps, de la parole et de l'esprit.

Intérêt et applications techniques

Une surface auto-nettoyante ! Un rêve !

Ne plus devoir nettoyer les sanitaires, les fenêtres, les façades, les voitures, les toits...

Bien que mieux adapté à l'extérieur (il faut de l'eau, avec la pluie, pour que l'effet lotus « fonctionne »), les industriels ne sont pas laissés impressionnés et ont créé une multitude de produit, dont la publicité promet beaucoup. Attention, certains produits sont vantés d'utiliser l'effet lotus dans la publicité, mais ne le font pas.

Voici quelques produits utilisant l'effet lotus :

- Lotusan, une peinture de façade (l'effet lotus a été reproduit à l'aide de silicone) ;
- des tuiles, de l'entreprise Erlus ;
- des tissus, avec la mention « self cleaning inspired by nature » ;

- de la laque (pour les voitures ; en raison de la forte rugosité, elle semble laiteuse) ;
- les vitres du système de péage automatique des camions en Allemagne sur les autoroutes (elles aussi sont laiteuses, mais cela n'empêche pas le bon fonctionnement du système, qui photographie les camions).

Aujourd'hui les chercheurs sont surtout à la recherche de méthodes pour reproduire efficacement l'effet lotus, en grande quantité et à prix bas, afin d'en équiper encore plus de produits.

g. Comment réaliser un matériau auto-nettoyant ou non salissant ?

L'effet « lotus » de la superhydrophobie a néanmoins une limite ; en 2005, Yang-Tse CHENG et Daniel RODAK ont découvert qu'il est possible de déjouer la superhydrophobie des feuilles de lotus en recouvrant la surface de celles-ci avec de la vapeur d'eau. Il y a alors un fort mouillage de la surface !

Source : http://lebiomimetisme.over-blog.fr/pages/Leffet_lotus-6851339.html

h. Commenter les utilisations pratiques de la superhydrophobie.

2 Comment obtenir une surface super-hydrophobe ?

La fumée issue de la combustion des matières organiques est constituée de très fines particules de carbone. Il est possible de rendre une surface super-hydrophobe avec cette fumée.

Manipulation



Matériel nécessaire : bécher, pipette simple avec sa poire, plaque de verre, allumettes.

- Après avoir dégraissé la surface de la plaque de verre avec du liquide vaisselle, l'essuyer soigneusement et vérifier son caractère hydrophile.

Ensuite, essuyer à nouveau soigneusement la plaque.

- Placer la flamme d'une allumette au-dessous de la plaque de verre de façon à y déposer la suie issue de la combustion de l'allumette.

Déplacer régulièrement l'allumette de façon à recouvrir le plus uniformément possible la surface de la plaque.

- Poser très délicatement, à l'aide d'une pipette Pasteur, une goutte d'eau sur la surface de la plaque de verre recouverte par la suie.
- Observer la forme prise par la goutte d'eau.
- En utilisant une webcam ou un appareil photo numérique, photographier la goutte d'eau.
- Faire le nécessaire pour que l'image de la goutte apparaisse sur l'écran.

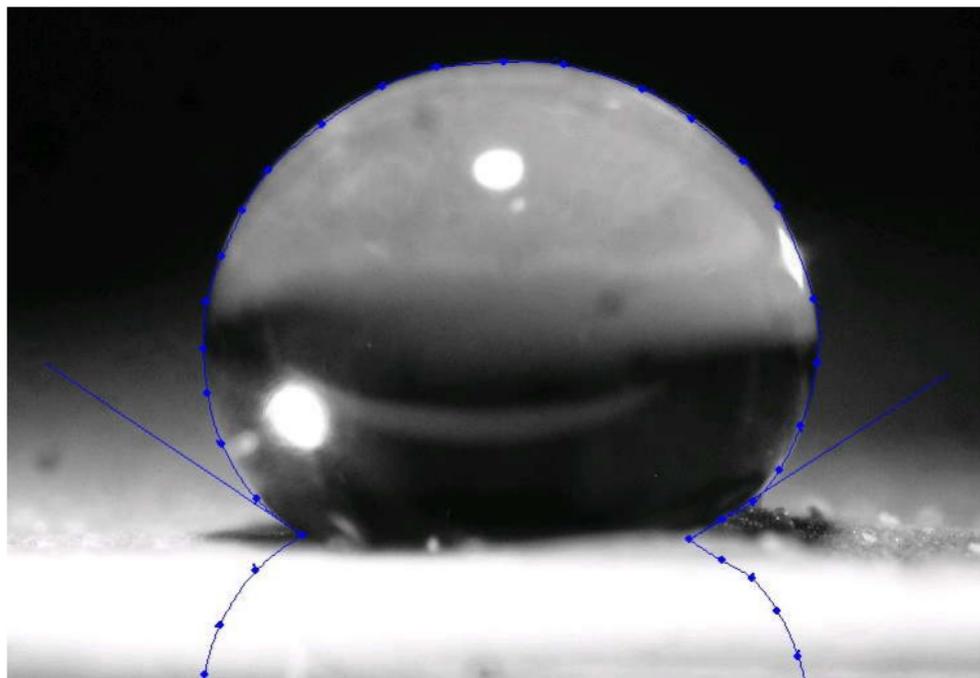
Il existe une app pour réaliser la capture de l'image de la goutte avec un smartphone :

<https://itunes.apple.com/fr/app/ar-ruler-app-tape-measur/id1326773975>



À défaut de réaliser des gouttes sur différents supports et de les analyser avec l'app précédente, télécharger une image sur laquelle les pointés ont déjà été faits :

<http://www.chaurand.fr/site/images/gouttefleurlotus-640.jpg>



Directement avec un rapporteur, vous pouvez mesurer l'angle sur la photo. Sur les versions récentes des smartphones, les outils de mesure sont intégrés. Il existe aussi des app pour cela, comme par exemple une app assez ancienne et vraiment mal fichue, mais qui fera l'affaire :

<https://apps.apple.com/fr/app/angles-in-photo/id9745500>



Source : Labo TP <https://labotp.org/TPTSSPELPOLA.html>

Exploitation

- Mesurer, sur l'image obtenue et le plus précisément possible, l'angle de contact entre la goutte et la surface.

i . La surface a-t-elle acquis un caractère hydrophobe ou super-hydrophobe ?

j . Rechercher la composition de la fumée résultant de la combustion de matières organiques, puis la composition de la suie.

Quelle est, ici, la matière organique dont on utilise la suie ?

k . Justifier le caractère super-hydrophobe du dépôt de suie.

l . Pourquoi peut-on dire que la surface de la plaque de verre est nanostructurée en surface ?

m. Le traitement de surface réalisé est-il résistant ?
Le vérifier et expliquer le résultat observé.

Ouverture

La tension superficielle de l'eau a des effets spectaculaires, qui peuvent être observés dans la nature sur les plans d'eau où les gerris, ces insectes-patineurs, exercent leur art :



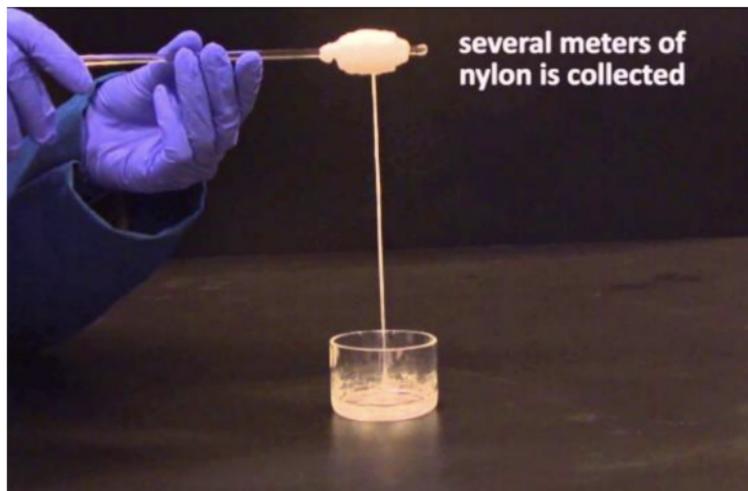
Source : Hachette Spécialité p. 176.

3 Activité documentaire n° 3 p. 130 et 131 Une vie de plastique

Prendre connaissance de cette activité et répondre aux questions du livre.

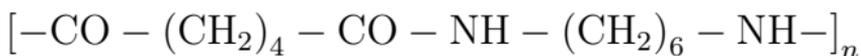
4 Synthèse du nylon 6-6

Hotte, gants & lunettes obligatoires pour cette manipulation !





- Le Nylon-6,6 est l'un des tous premiers polymères synthétisés, inventé en 1935 par Wallace CAROTHERS qui travaille alors chez Du Pont de Nemours, une entreprise de chimie américaine. Il est souvent utilisé dans les fibres textiles.
- Le terme « NyLon » sont les initiales de New-York et London, et 6,6 car une telle molécule est formée d'un monomère comportant deux fois six atomes de carbone, entourant le groupe amide :



Les crochets indiquent que le monomère se reproduit à l'identique des deux côtés, n fois, n étant le degré

de polymérisation.

- Le Nylon est un polyamide, car obtenu par une réaction de polymérisation entre motifs monomères comportant des fonctions amides, avec élimination de petites molécules. C'est donc une polycondensation.
- En théorie, le Nylon-6,6 est produit par réaction entre l'hexane-1,6-diamine et l'acide hexanedioïque.

En pratique, au laboratoire, on utilise le dichlorure d'hexanedioyle au lieu de l'acide. Dans un bécher, on verse avec précaution 10 mL d'une solution de dichlorure d'hexanedioyle en solution à 5 % en masse dans le dichlorométhane. Le long d'un agitateur en verre, on fait couler la solution aqueuse d'hexane-1,6-diamine. Il se forme deux phases. On rajoute quelques gouttes de phénolphtaléine. À l'aide d'un crochet, on tire une fibre que l'on enroule autour d'un agitateur. On obtient un fil nylon rose. On effectue un lavage du fil à l'eau puis on le met à l'étuve.

n. Recopier la formule du Nylon-6,6 et entourer le groupe amide.

o. Donner les formules semi-développées de l'hexane-1,6-diamine et le diacide hexanedioyle.

p. Écrire l'équation de la réaction entre l'acide carboxylique et l'amine. Que remarque-t-on ?

q. Dans le texte, on lit « avec élimination de petites molécules ». Quelle petite molécule est éliminée lorsque le Nylon-6,6 est synthétisé à partir du diacide (acide hexanédioïque) ?

r. À l'aide des données physico-chimiques, expliquer pourquoi les deux solutions ne sont pas miscibles.

s. Justifier l'ordre dans lequel les solutions sont versées.

t. Pourquoi qualifie-t-on cette polycondensation d'interfaciale ?

u. Dans quel état physique obtient-on la fibre de nylon ?

5 Élaboration & vieillissement des polymères

5.1 Définition

Le terme polymère (du grec *polus* « nombreux, plusieurs » et *mêros*, « unité, partie ») regroupe tout matériau constitué de très grandes molécules formées par la répétition souvent monotone de nombreuses petites molécules de faible masse moléculaire appelées monomères.

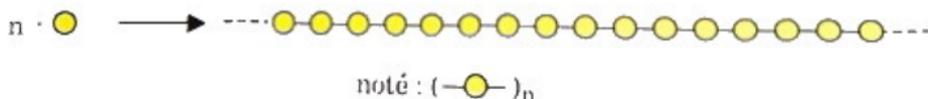


FIG. 1 – Représentation symbolique d'un polymère.

L'assemblage des monomères pour l'obtention de polymères (ou macromolécules) s'appelle la polymérisation. La réaction de polymérisation est également utilisée par les organismes vivants : les végétaux fabriquent de la cellulose, polymère constitué d'un très grand nombre d'unités glucose ; les protides sont aussi des macromolécules, obtenues par l'assemblage d'acides aminés.

v. Qu'est-ce qu'un polymère ?

On caractérise un polymère en indiquant le nombre moyen n de monomères par macromolécule. Ce nombre s'appelle le degré de polymérisation. Il est déterminé par le rapport entre la masse molaire moyenne du polymère M_p et la masse molaire du monomère M_m :

$$n = \frac{M_p}{M_m}$$

Le nombre précis de molécules de monomères incorporées dans une molécule de polymère n'est pas très important, dès lors que les valeurs de n sont très élevées. La synthèse des polymères aboutit en général à une macromolécule caractérisée par une fourchette de valeurs de n . Ainsi, il y a peu de différence entre deux polymères constitués, l'un de 5000 l'autre de 5100 monomères. C'est parce qu'il s'agit d'un mélange de molécules de taille différente que les polymères n'ont pas de point de fusion net, mais se ramollissent sur une fourchette de température. Ceci n'est valable que pour les thermoplastiques (voir plus loin).

- w. Considérons l'éthène $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ comme monomère. Calculer sa masse molaire et la masse molaire du polymère formé avec un indice de polymérisation de 5000.

5.2 Classification

Différentes classifications sont en vigueur, basées sur la structure des polymères, sur leur composition chimique, sur leurs propriétés physiques, sur leurs propriétés rhéologiques (comportement qui lie la déformation à la contrainte et à l'étirement), sur leur comportement à la chaleur ou sur la nature des réactions chimiques qui conduisent à leur synthèse. Ces diverses classifications se recoupent fréquemment. Celles basées sur la structure du matériau sont présentées à la section traitant de la structure moléculaire.

Matières plastiques et élastomères

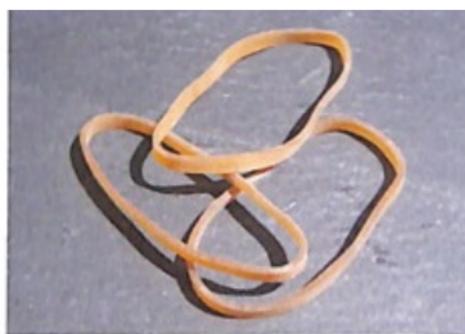
Cette distinction nous renseigne sur le comportement des polymères soumis à des contraintes de déformation ou d'étirement.

À l'origine, le terme plastique (du grec *plastikos* « qui peut être modelé ») était utilisé pour désigner une ma-

tière que l'on peut modeler. Par la suite, il a désigné un matériau relativement mou qui se situe dans un état intermédiaire entre l'état solide rigide et celui de liquide fluide. Aujourd'hui, on considère les **matières plastiques** comme des polymères organiques de synthèse. On les connaît le plus souvent sous leur nom commercial ou leur abréviation comme : PVC, nylon, PET, téflon, plexiglass, etc. Ils se caractérisent par des propriétés physiques qui peuvent être très différentes d'un polymère à l'autre. Leur caractéristique commune est leur capacité à être modelé.



(a)



(b)

FIG. 2 – Les bracelets en caoutchouc peuvent être (a) fortement étirés, tout en (b) reprenant leurs formes initiales.

Les **élastomères** sont souvent considérés comme une famille à part de polymères de synthèse. Les élastomères ont la faculté de reprendre leur forme initiale après étire-

ment alors que les matières plastiques conservent une déformation imposée. C'est ce pouvoir de rappel élastique caractéristique des élastomères qui permet aux « balles magiques » de rebondir presque aussi haut que leur point de chute. Les bracelets en caoutchouc sont même appelés simplement des élastiques parce qu'on peut les étirer de plusieurs fois leur longueur et qu'ensuite, ils reviennent à leur état initial. Cette caractéristique découle de la structure moléculaire du polymère.

Thermoplastiques et thermodurcissables

Cette classification est la plus utilisée par les mouleurs. Elle renseigne sur le comportement des polymères face à la chaleur et sur leur capacité à être recyclés. Elle permet, par exemple, de savoir si un polymère peut être moulé à basse température et de prévoir s'il peut être recyclé.

On appelle **thermoplastique** un polymère qui, lorsqu'il est chauffé, se ramollit alors que s'il est refroidi, il durcit. L'opération pouvant se répéter, la plasticité du polymère est inversible. Comme les thermoplastiques sont façonnables à la chaleur, ils présentent l'avantage d'être récupérables et réutilisables. Ce comportement est directement lié à la structure du polymère et au

fait que le chauffage ne provoque pas de modification chimique du polymère.

À contrario l'augmentation de température d'un polymère **thermodurcissable** favorise la réticulation (création de liaisons) entre les chaînes, ce qui a pour effet de rigidifier le matériau. La chaleur rend le polymère plus dur. Ce durcissement est irréversible. Ainsi, une fois la forme acquise, le thermodurcissable n'est plus modelable, sa transformation est définitive. La polymérisation doit donc être directement réalisée dans le moule. S'il est à nouveau chauffé, le polymère thermodurcissable va conserver sa rigidité jusqu'à sa décomposition.

5.3 Polymères à croissance en chaîne, d'addition et de condensation

On va maintenant voir les différents moyens de créer un polymère à partir des monomères.

Les différents moyens se distinguent par des réactions chimiques différentes : addition, condensation ou croissance de chaîne.

- Tous les **polymères à croissance en chaîne** sont obtenus à partir de monomères insaturés. La

réaction de polymérisation a lieu par l'ouverture de doubles liaisons carbone-carbone et réarrangement. On peut modéliser cette réaction par la représentation de personnages placés les uns à côté des autres : bras croisés (forme monomère) puis ouvrant les bras pour se donner la main (polymérisation) et finalement liés les uns aux autres (polymère ou macromolécule) !

La macromolécule correspond ainsi à un enchaînement successif et répété de monomères. C'est le cas de la majeure partie des polymères.

- Les **polymères d'addition** sont obtenus à partir de monomères différents, généralement deux, porteurs de fonctions chimiques à chacune de leur extrémité. La polymérisation appelée dans ce cas polyaddition se fait par réaction entre les groupes fonctionnels des deux monomères et conduit à la création d'une nouvelle fonction qui les lie. La macromolécule correspond ainsi à un enchaînement successif (ordonné ou non) et répété de deux monomères distincts.
- Les **polymères de condensation** diffèrent de ceux d'addition par le fait que la réaction entre les groupes fonctionnels des deux monomères différents a lieu avec la perte d'une petite molécule,

5.4 Structure moléculaires

Le comportement des polymères à l'étirement ou à la chaleur est directement lié à l'organisation des macromolécules entre elles. Connaître la structure moléculaire du matériau permet ainsi de prévoir et de comprendre ses propriétés rhéologiques. C'est un paramètre important pour le plasturgiste qui doit choisir le bon polymère pour fabriquer un objet aux propriétés désirées.

Structure linéaire, ramifiée ou réticulée

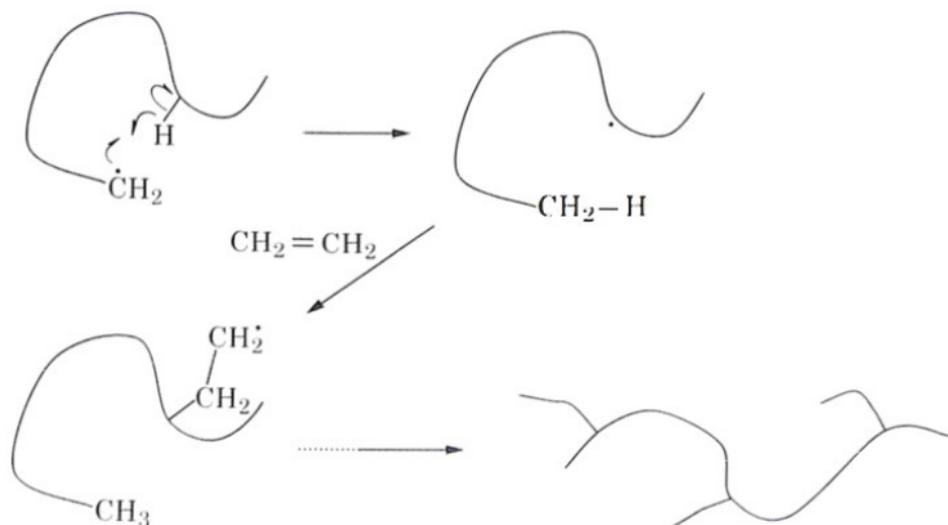


FIG. 4 – Mécanisme réactionnel montrant la création d'une ramification par rupture d'une double liaison $\text{C}=\text{C}$.

Au cours de la polymérisation, il peut arriver qu'une chaîne carbonée en croissance réagisse avec elle-même. Il se crée alors des ramifications :

Celles-ci peuvent être courtes (moins de 6 atomes) ou longues (presque la taille de la macromolécule). Elles modifient les propriétés du polymère. Selon les conditions expérimentales de synthèse, les polymères peuvent être de structure linéaire, ramifiée ou encore réticulée :

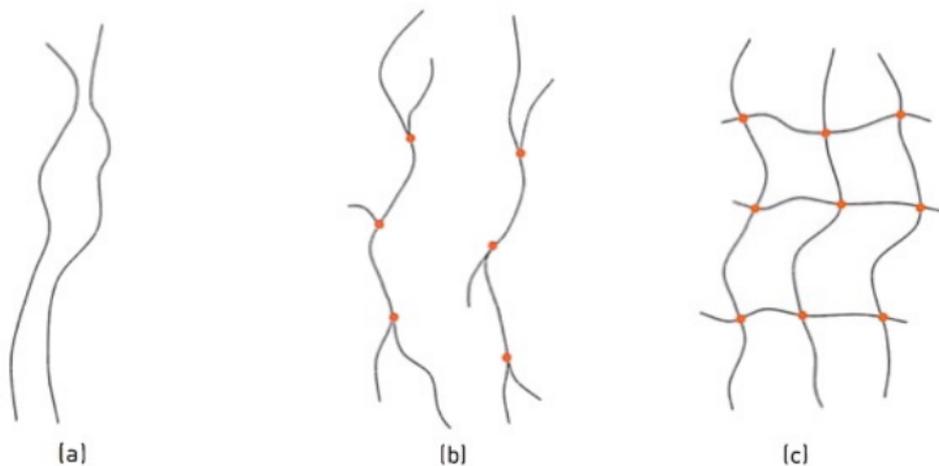


FIG. 5 – Types de structures de polymères :
(a) linéaire ; (b) ramifiée ; (c) réticulée.

Les deux premières structures correspondent aux polymères thermoplastiques alors que la dernière est celle des thermodurcissables. La réticulation diffère de la

ramification car elle associe les longues chaînes entre elles.

Exemple : Le polyéthylène est un polymère qui peut se présenter sous une forme plus ou moins dense. Le polyéthylène haute densité, PEhd, est un thermoplastique fait de chaînes linéaires tandis que le PEbd (PE basse densité) est constitué de chaînes ramifiées. Les ramifications entraînent une diminution de la densité et sont responsables de la différence de propriétés du matériau.

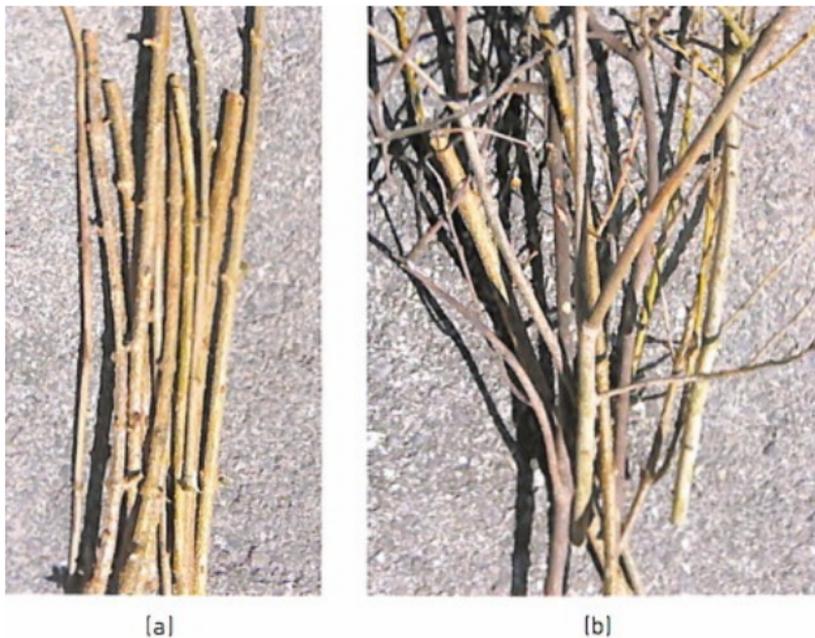


FIG. 6 – On peut comparer les thermoplastiques :
(a) linéaires à un tas de baguettes ; (b) ramifiés à un tas de branchages. Le premier est plus compact que le second.

On pourrait comparer l'assemblage des chaînes dans la macromolécule à un tas de baguettes en bois pour le PEhd et à un tas de branchages pour le PEbd. Avec un nombre équivalent de baguettes, le tas de branchage est plus volumineux !

Structure et propriétés des thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des polymères présentant une

structure linéaire ou ramifiée. Ils ont la faculté de se ramollir à la chaleur. En effet leurs chaînes n'étant pas liées entre elles par des liaisons covalentes, elles peuvent facilement glisser les unes sur les autres :

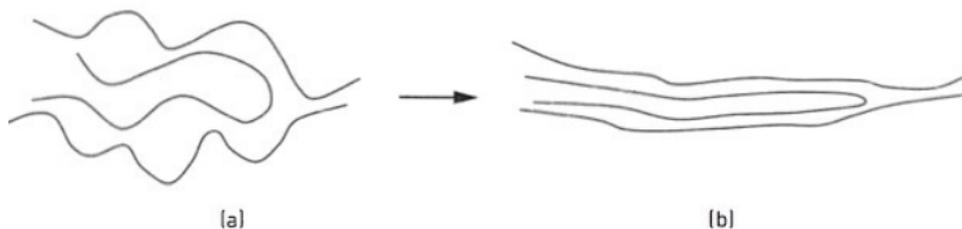


FIG. 7 – Schéma d'un thermoplastique ou caoutchouc non encore réticulé : (a) au repos ;
(b) ramolli par chauffage et soumis à une traction.

y. Quel est le point clef de la structure moléculaire d'un polymère qui permet d'expliquer une bonne partie de ses propriétés ?

En l'absence de moule, le matériau prend une forme aléatoire et la conserve une fois refroidi :

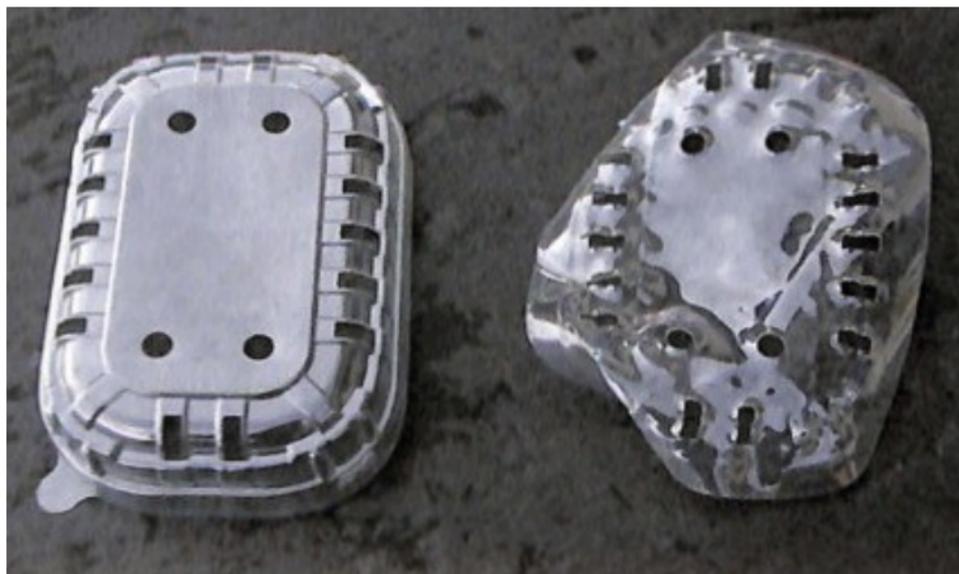


FIG. 8 – Une barquette en thermoplastique :

(a) après moulage ;

(b) après passage au lave-vaisselle la barquette a été ramollie par la chaleur et s'est déformée.

Placé dans un moule, le matériau polymère adoptera sa forme. Le ramollissement et le changement de forme peuvent être réalisés à plusieurs reprises. C'est ce qui rend les thermoplastiques réutilisables et donc récupérables. La mise en forme d'un thermoplastique se fait à chaud (entre 180 °C et 300 °C), lorsqu'il est ramolli. La rigidité est ensuite obtenue par refroidissement.

Structure et propriétés des thermodurcissables et des élastomères

Les thermodurcissables et les élastomères ont tout deux une structure réticulée. La réticulation est provoquée par un durcisseur. Elle se fait progressivement au cours du processus de synthèse, par la création de mailles comparables à celles d'un filet de pêcheurs. Plus les liaisons entre les chaînes sont nombreuses, plus le matériau est rigide. La réticulation augmente avec la température. Le polymère durcit donc lorsque l'on accroît la température et cette transformation est irréversible. Si la réticulation n'est pas trop importante, le réseau obtenu est à mailles larges. Le matériau présente alors des propriétés élastiques, on parle d'élastomère. Si la réticulation est plus importante, les mailles sont serrées, le matériau est rigide et le thermodurcissable est appelé duroplaste.

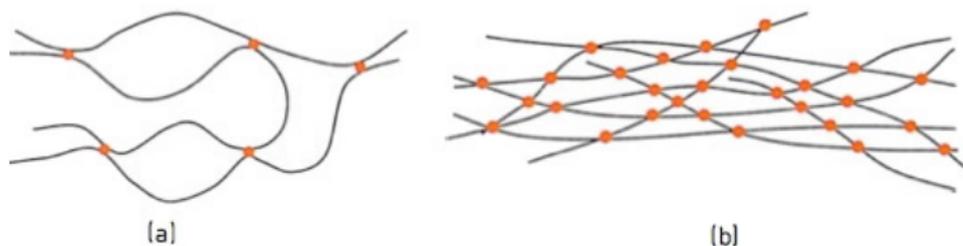


FIG. 9 – On distingue deux types de réticulations : (a) à mailles larges (structure des élastomères) ; (b) à mailles serrées (structure des duroplastés).

Au repos, les élastomères sont constitués de chaînes repliées et enroulées sur elles-mêmes. Sous l'effet d'une

traction, les chaînes se déroulent et l'élastomère s'allonge. Lorsque la traction s'arrête, les chaînes s'enroulent de nouveau et le polymère reprend sa longueur initiale.

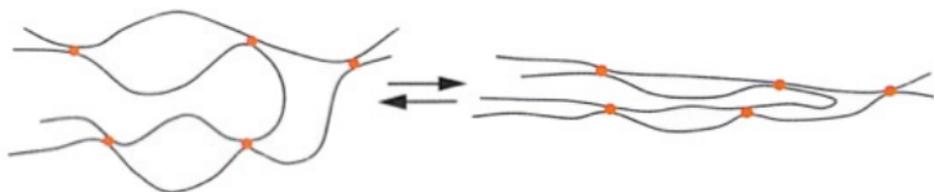


FIG. 10 – Un élastomère est constitué d'un réseau de mailles larges, ce qui permet son étirement.

Si les entrecroisements se présentent à des intervalles moyens de 100 à 1000 liaisons tout au long de la chaîne, les mailles sont suffisamment larges pour permettre au polymère d'être allongé de plusieurs fois sa longueur au repos sans qu'il ne se rompe. Cependant, si la traction est trop élevée, les chaînes se mettent à glisser les unes sur les autres et l'élasticité disparaît.

Quand les élastomères sont soumis à la **chaleur**, aux **UV**, la réticulation se poursuit et leur élasticité diminue. De plus les chaînes se rompent. C'est pourquoi, quand un élastomère a « vieilli », il devient cassant. On peut l'observer avec les vieux bracelets en caoutchouc.

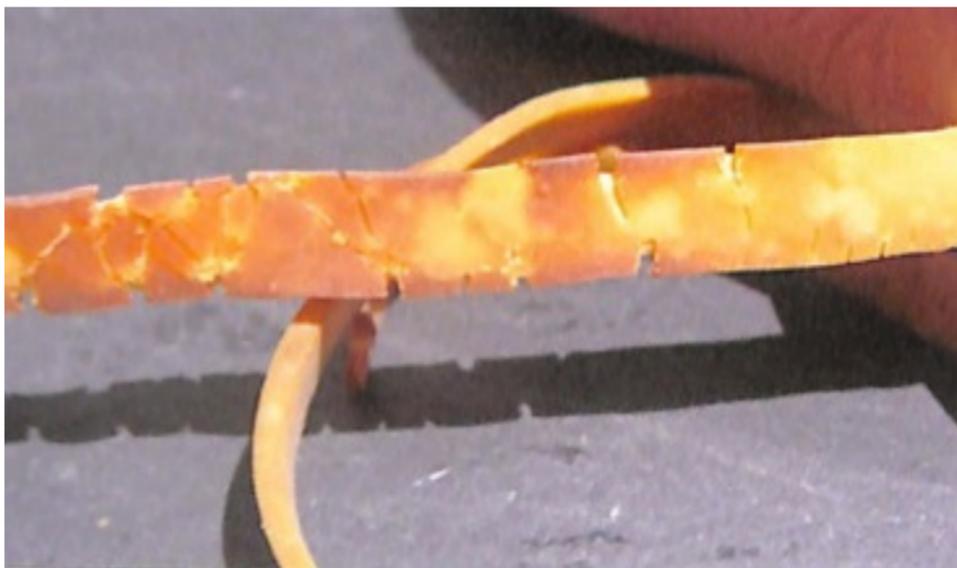


FIG. 11 – Un bracelet en caoutchouc qui a « vieilli » perd son élasticité et devient cassant.

La mise en forme des polymères thermodurcissables est effectuée avant que la réticulation ne soit terminée. Les chaînes du polymère ne sont pas encore toutes reliées entre elles et il est encore mou. Un chauffage sous pression termine la polymérisation et le polymère durcit complètement. Les mailles des thermodurcissables étant serrées, le réseau ne peut plus être déformé et l'objet a ainsi acquis sa forme définitive.

Structure des thermoplastiques avec plastifiant

Les thermoplastiques se ramollissent à la chaleur, mais

ils sont souvent rigides à température ambiante. Or pour la fabrication et l'usage de tuyaux ou gaines de fils électriques par exemple, il peut être nécessaire d'avoir un matériau qui reste mou à basse température. Cette flexibilité peut être obtenue par ajout de plastifiants, composés appartenant généralement à la famille des esters. Un plastifiant est un solvant lourd qui, en s'insérant entre les chaînes, détruit partiellement les interactions entre celles-ci et les rend ainsi plus libres. La rigidité du polymère diminue avec l'augmentation de la concentration en plastifiant. C'est de cette manière que le PVC thermoplastique rigide est transformé en élastomère thermoplastique, le PVC mou.

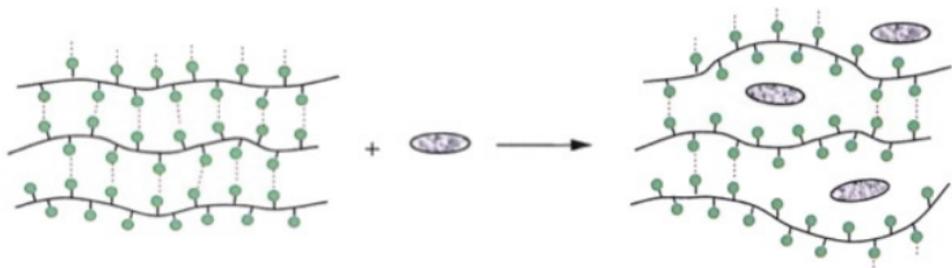


FIG. 12 – Polymère thermoplastique rigide auquel on incorpore un plastifiant.

z. Comment éviter ou retarder le « vieillissement » d'un polymère ?

Exercices pour la séance 24

Nota bene : Ne laissez pas de côté l'intéressant exercice résolu n° 1 p. 133, sur le vieillissement du polyéthylène.

24.1 N° 6 p. 134 – Incinération des plastiques

24.2 N° 8 p. 135 – Dépolymérisation