

LA CHIMIE DANS LA CASSEROLE

A. QUEL EST LE SECRET DE LA MAYONNAISE ?

1. UNE RECETTE

Ingrédients :

- 1 jaune d'œuf
- 1 cuillère à café de moutarde
- $\frac{1}{4}$ de litre d'huile
- 1 cuillère à café de jus de citron ou de vinaigre
- Sel, poivre

Mettre dans un bol le jaune d'œuf, saler, poivrer et bien mélanger au fouet. Ajouter le jus de citron, mêler. Incorporer l'huile, en un mince filet, en fouettant énergiquement.

Parmi tous les ingrédients, quels sont ceux qui sont indispensables à la préparation de la mayonnaise ?

Les ingrédients indispensables à la préparation de la mayonnaise sont le jaune d'œuf et l'huile.

2. QUELLE EST LA COMPOSITION D'UN ŒUF ?

Expérience :

Casser un œuf et séparer le blanc du jaune. Réaliser sur chaque partie de l'œuf le test au sulfate de cuivre anhydre.

Observations :

Le sulfate de cuivre anhydre, initialement blanc, prend une coloration bleue.



Interprétation :

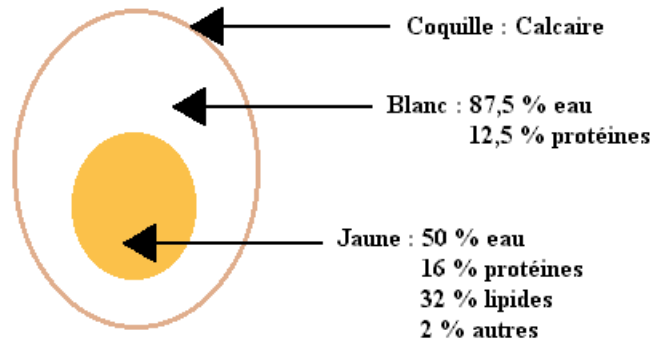
Quel est le constituant de l'œuf mis en évidence par cette expérience ?

Le test au sulfate de cuivre anhydre permet de mettre en évidence l'eau contenue dans l'œuf.

Conclusion :

Composition de l'œuf :

L'œuf est essentiellement composé d'eau mais également de protéines et de lipides.



3. QUE DONNE LE MELANGE HUILE-EAU ?

Puisque l'eau est le constituant essentiel du jaune d'œuf, on pourrait penser que cette eau associée à l'huile est à la base de la mayonnaise. Qu'en est-il ?

Expérience n°1:

Verser de l'huile et de l'eau dans un bol. Observer.

Observations :

L'huile et l'eau ne se mélangent pas. L'huile reste au-dessus de l'eau.



Conclusion :

L'huile et l'eau ne sont pas miscibles, on dit que deux phases se forment.

Expérience n°2 :

Mixer l'huile et l'eau.

Observations :

Des gouttes d'huile semblent se mélanger à l'eau. Au bout de quelques instants, les deux phases se séparent de nouveau.



Conclusion :

L'huile et l'eau ne sont pas miscibles, mais par mixage, des gouttelettes d'huile peuvent rester en suspension dans l'eau et ainsi former une émulsion instable.

4. POURQUOI EST-CE-QUE L'HUILE ET L'EAU NE SONT PAS MISCIBLES ?

Activité de questionnement :

a) Quelle est la structure de la molécule d'eau ?

Quelle est la composition atomique de la molécule d'eau ?

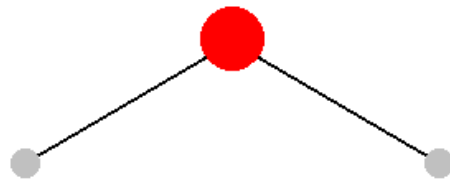
La molécule d'eau est une molécule formée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

Comment s'enchaînent les atomes de la molécules d'eau ?

L'enchaînement des atomes de la molécule d'eau est : H — O — H

Quelle est la forme géométrique de la molécule d'eau ?

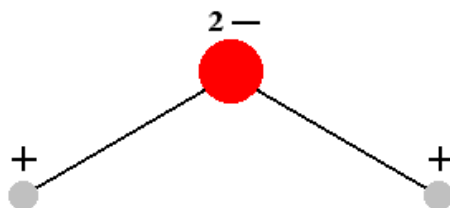
La molécule d'eau est une molécule coudée, les trois atomes forment un triangle.



Quelle est la charge électrique globale de la molécule d'eau ?

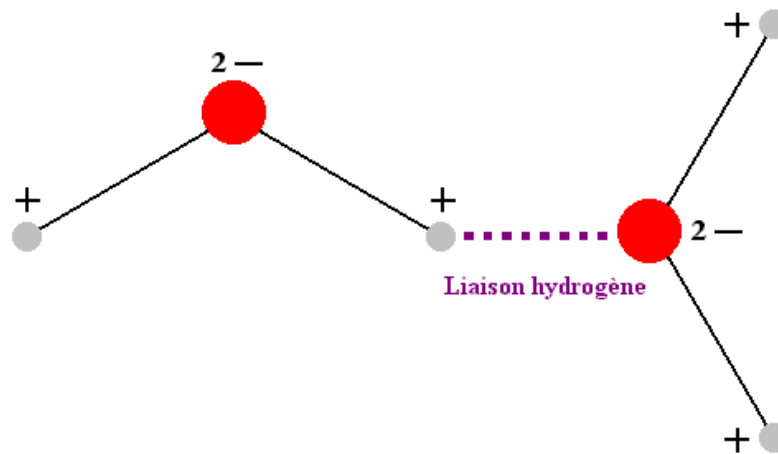
Comme toute molécule, la molécule d'eau est électriquement neutre.

Une étude approfondie de l'eau montre que si la molécule est globalement neutre, cela ne veut pas dire que les atomes qui la constituent le soient. En effet, les différents atomes portent de petites charges électriques réparties de la manière suivante :



Que peut-il se produire entre l'atome d'oxygène d'une molécule d'eau et l'un des atomes d'hydrogène d'une autre molécule d'eau ?

Il peut y avoir une attraction électrostatique entre ces deux atomes. Il se forme ce qu'on appelle une liaison hydrogène.



Il faut savoir que cette liaison ne peut exister que parce que l'atome d'hydrogène intervenant est lui-même lié à un atome d'oxygène.

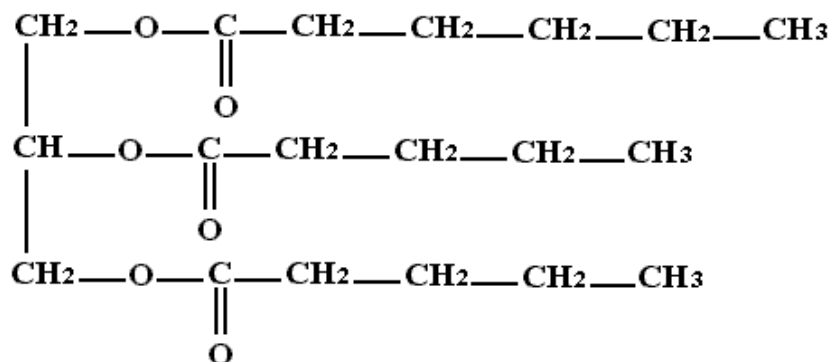
D'une façon générale, toutes les molécules possédant un groupement — OH pourront former des liaisons hydrogène avec des molécules d'eau.

Pourquoi un produit dont les molécules constitutantes peuvent former des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau est-il miscible dans l'eau ?

Les liaisons hydrogène permettent aux molécules de « s'accrocher » aux molécules d'eau et ainsi de former non pas une émulsion, mais un mélange homogène.

b) Quelle est la structure de la molécule d'huile ?

L'huile est un corps gras ou lipide. Sa molécule fait partie de la famille des triglycérides. C'est une molécule essentiellement constituée d'atomes de carbone et d'hydrogène, de formule brute $C_{19}H_{34}O_6$ et qui a la forme d'un peigne à trois dents :



Au vu de la structure de cette molécule, expliquer pourquoi l'huile et l'eau ne sont pas miscibles ?

L'huile ne présente pas de groupement — OH, elle n'aura donc pas la possibilité de former des liaisons hydrogène avec l'eau et ces deux liquides ne seront donc pas miscibles.

Il est maintenant évident que l'huile et l'eau contenue dans le jaune d'œuf ne sont pas les seuls constituants de base de la mayonnaise.

Il faut donc s'intéresser aux protéines et aux lipides contenus dans ce jaune d'œuf. Si les protéines intervenaient, l'expérience voudrait que l'on utilise également le blanc d'œuf puisqu'il en contient 87,5 %.

Il est donc quasiment certain que le constituant manquant de la mayonnaise est un des lipides contenu dans le jaune d'œuf.

5. UN LIPIDE DU JAUNE D'ŒUF : LA LECITHINE

a) Quelle est la structure de la lécithine ?

La lécithine est un lipide que l'on représente schématiquement de la manière suivante :



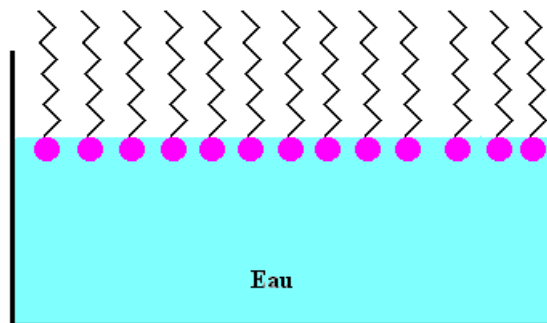
A cause de sa structure, on dit de la lécithine que c'est un composé tensioactif.

Tous les composés tensioactifs ne possèdent pas forcément deux chaînes carbonées.

b) Quels sont les comportements d'un composé tensioactif vis-à-vis de l'eau ?

Que se passe-t-il à l'échelle microscopique lorsqu'un composé tensioactif arrive au contact de l'eau ?

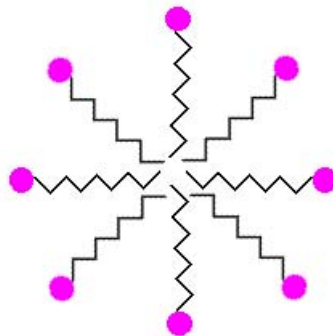
Les molécules du composé tensioactif ont tendance à s'aligner à la surface de contact entre l'air et l'eau : elles forment un **film interfacial**.



La formation du film interfacial suggère une grande affinité de la tête du composé tensioactif pour l'eau, elle est capable de former une liaison hydrogène avec l'eau. On dira que le composé tensioactif possède **une tête hydrophile** (« qui aime l'eau ») et **une queue hydrophobe** (« qui n'aime pas l'eau »).

Que se passe-t-il si la concentration dans l'eau du composé tensioactif est grande ?

Les molécules du composé tensioactif se regroupent pour former des structures sphériques que l'on appelle des **micelles**. On retrouvera les têtes hydrophiles à la surface de ces sphères et les queues hydrophobes « bien protégées de l'eau » à l'intérieur.



La lécithine comme tout composé tensioactif possède une tête hydrophile et une queue hydrophobe. Elle pourra former un film interfacial ou des micelles dans l'eau.

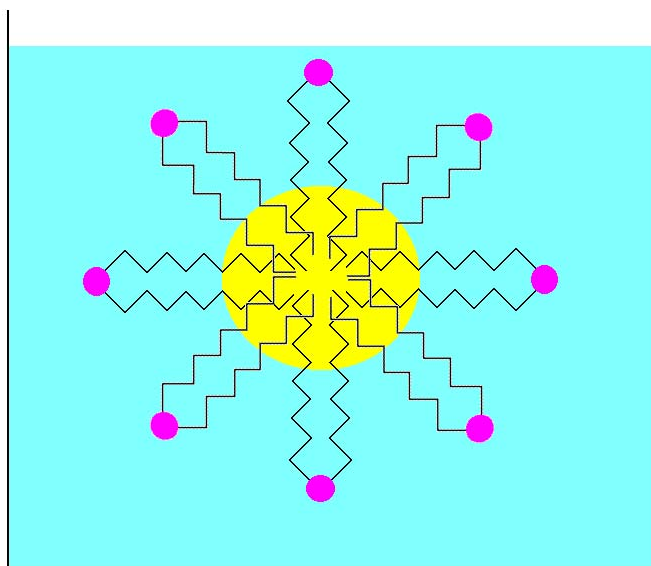
6. QUE SE PASSE-T-IL LORS DE LA REALISATION D'UNE MAYONNAISE ?

Lorsqu'on mélange l'huile et le jaune d'œuf ; on mélange en fait de l'huile, de l'eau et des lécithines grâce auxquelles on obtient la mayonnaise.

Lorsqu'on fouette le mélange, les molécules tensioactives enrobent des gouttelettes d'huile et se « fixent » à elles par contact de leur partie hydrophobe. Il se forme des micelles.

Ces micelles, portant toutes la même charge électrique, se repoussent par interaction électrostatique et se dispersent dans l'eau.

Dispersées dans l'eau et grâce à leur surface hydrophile, les micelles forment des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau, ceci évite leur coalescence (formation par contact de micelles plus grosses), ce qui assure la stabilité de la mayonnaise.



La mayonnaise est une émulsion stable entre l'huile et l'eau.

7. QUELS PARAMETRES INFLUENCENT LA REUSSITE DE LA MAYONNAISE ?

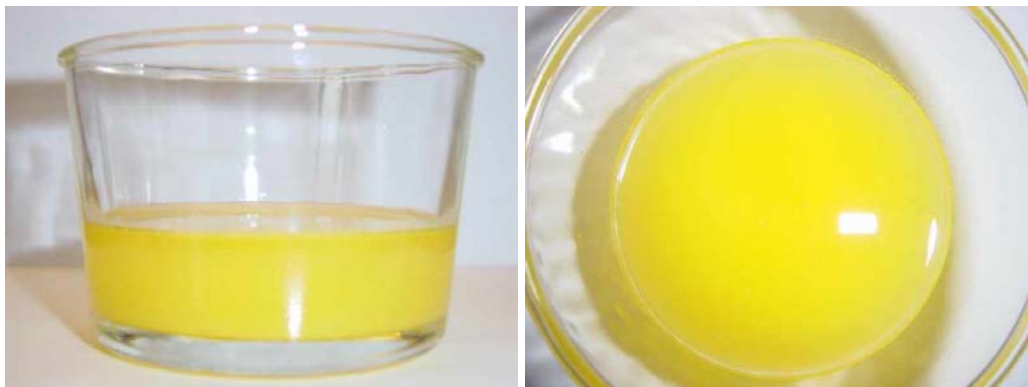
a) Influence de la vitesse de mixage

Expérience :

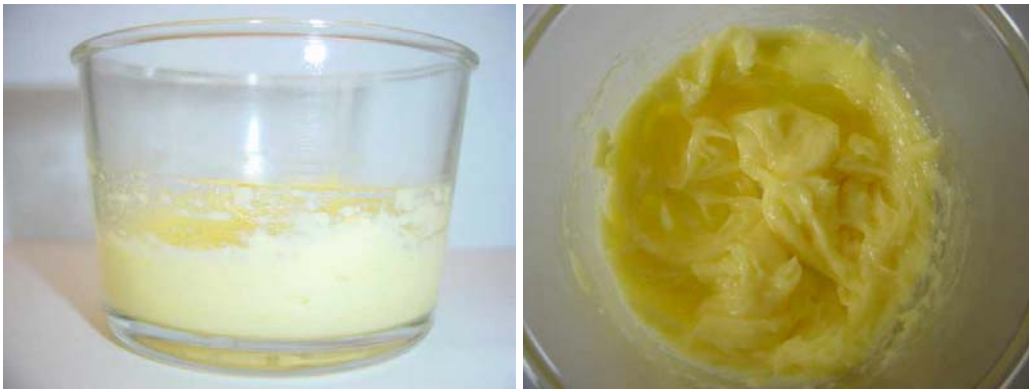
Placer dans un bol un jaune d'œuf. Ajouter, en un mince filet, 50 mL d'huile en battant avec une fourchette. Recommencer en battant à l'aide d'un batteur électrique. Observer.

Observations :

La mayonnaise préparée au batteur électrique est beaucoup plus dure que celle préparée à la fourchette.



A la fourchette



Au batteur électrique

Interprétation :

Afin de former les micelles huile-lécithine, il faut diviser l'huile en fine gouttelette ; ce qui est favorisé par un mixage rapide.

Les micelles ne sont pas des sphères dures. Elles peuvent se déformer, voire se fragmenter sous l'action d'un mixage. Plus le mixage sera rapide, plus les micelles se réorganiseront en micelles de taille plus petite. Ceci a pour conséquence d'augmenter la compacité et donc la dureté de la mayonnaise.

Conclusion :

Plus la vitesse de mixage sera grande, plus l'émulsion sera dure.

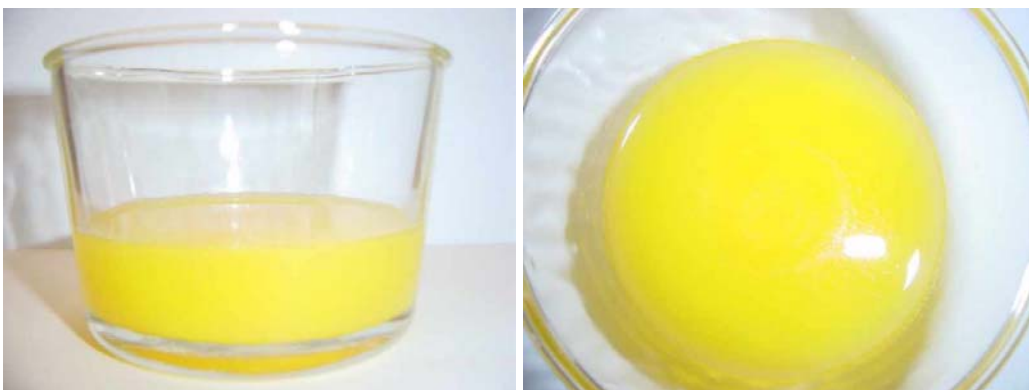
b) Influence de la température

Expérience :

Placer dans un bol un jaune d'œuf. Ajouter, en un mince filet, 50 mL d'huile froide en battant à l'aide d'un batteur électrique. Observer.

Observations :

La mayonnaise ne prend pas.



Interprétation :

Plus la température est basse, plus la miscibilité de l'huile et de l'eau est réduite car l'huile a tendance à se figer. Malgré le mixage rapide, on sera dans l'impossibilité de former des gouttelettes et donc de réussir la mayonnaise.

Conclusion :

Pour réussir une émulsion, il faut que ses constituants et surtout l'huile soient à température ambiante.

8. QUELS SONT LES RÔLES DES AUTRES INGREDIENTS DE LA MAYONNAISE ?

a) Quel est le rôle de la moutarde ?

La moutarde contient des molécules tensioactives, elle joue donc le même rôle que la lécithine.

b) Quel sont les rôles du sel et du jus de citron ?

Pour réussir une mayonnaise, il faut que l'émulsion soit stable.

Les micelles, que contient cette émulsion, ayant toutes la même charge électrique, se repoussent. Si l'on ajoute du sel ou du jus de citron, on augmente la charge électrique de ces micelles et celles-ci se repoussent davantage, augmentant ainsi la stabilité de la mayonnaise.

B. LES MATERIAUX BIODEGRADABLES

1. LES EMBALLAGES

a) Pourquoi des emballages biodégradables ?

Les films conventionnels, en polyoléfines, constituent 2 % des déchets domestiques. En 1989, par exemple, les Français avaient consommé 75 000 tonnes de plastiques sous forme de sacs d'emballage. Ces films deviennent des polluants s'ils ne sont pas recyclés ou incinérés. Dans ce contexte, le développement des films biodégradables a contribué de façon importante à la protection de l'environnement.

b) Qu'est-ce-qu'un emballage biodégradable ?

Un emballage biodégradable est formé de molécules qui peuvent être transformées en molécules plus petites et moins polluantes par des micro-organismes vivant dans le milieu naturel.

c) Des emballages à base d'amidon !

La préparation des films à base d'amidon est très prometteuse car l'amidon est une matière première renouvelable que l'on trouve dans les plantes. Pour obtenir un film biodégradable, on préserve autant que possible la structure moléculaire de l'amidon, de telle sorte que la décomposition par des enzymes reste possible. En 1990, on a mis au point un matériau qui, même épais de plusieurs millimètres, disparaît en quelques mois. Ce matériau comprend plus de 60 % de matières premières agricoles, notamment des amidons de céréales qui sont transformés par les micro-organismes du sol. De même, on trouve des sacs biodégradables à base de polyéthylène et d'amidon de maïs, destinés à disparaître en quelques années.

Des problèmes importants subsistent. En effet, les petites particules non biodégradables encore présentes dans les sols après dégradation de la masse de ces plastiques s'avèrent bien plus difficiles à récupérer que les sacs "entiers" du fait de leur très petite taille.

d) Synthèse d'un film amidon-glycérol

Expérience (professeur) :

Produits :

- amidon de maïs ou amidon de pomme de terre,
- glycérol, en faire une solution dans l'eau distillée à 50 % en volume,
- colorant alimentaire, au choix : bleu patenté, rouge cochenille. En faire une solution dans l'eau distillée à 1 g dans 100 ml,
- acide chlorhydrique à $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$,
- solution d'hydroxyde de sodium NaOH à $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$.

Matériel :

- un ballon à col large de 250 cm³,
- un bain-marie,
- un agitateur magnétique chauffant,
- un barreau aimanté,
- un thermomètre à mercure (150°C),
- une pipette de 1cm³, une pipette de 2 cm³ et deux pipettes de 5 cm³,
- plusieurs agitateurs en verre,
- une ou deux plaques de plexiglas de 15 cm × 15 cm.

Mode opératoire :

- Préparer dans un ballon 2,5 g d'amidon, 2 cm³ de solution de glycérol, 0,5 cm³ de solution de bleu patenté ou 1 cm³ de solution de rouge cochenille, 3 cm³ d'acide chlorhydrique (on remarque alors un changement de couleur le bleu devient vert et le rouge devient rosé), 20 cm³ d'eau distillée si l'on utilise l'amidon de maïs ou 25 cm³ si l'on utilise l'amidon de pomme de terre.
- Chauffer le bain- marie à ébullition.
- Plonger le ballon dans le bain et l'y laisser sous agitation pendant 15 minutes exactement .
- La solution visqueuse et colorée obtenue est alors neutralisée par ajout de 3 cm³ de soude.
- Verser le contenu du ballon sur la plaque de plexiglas. Avec un agitateur en verre, utilisé comme un rouleau à pâtisserie, étaler la solution uniformément sur la plaque .
- Mettre la plaque dans l'étuve à 110 °C pendant environ 1h 30min.
- Laisser sécher à l'air libre. Le temps de séchage dépend de l'épaisseur du film déposé sur la plaque. Pour une épaisseur moyenne, prévoir 24 h.
- Le film est décollé avec précaution de la plaque en tirant petit à petit de façon uniforme sur toute la largeur.

2. UN POLYMERE

a) Du lait à la base d'une matière plastique

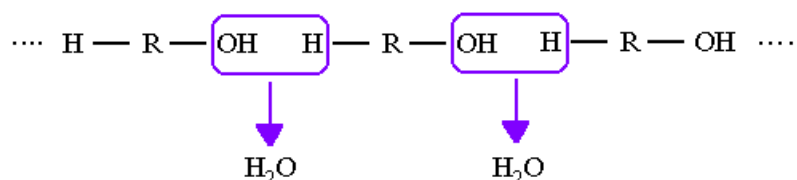
Le lactose est un glucide présent dans le lait. La fermentation lactique est une transformation biologique naturelle du lait : sous l'effet de bactéries lactiques il se forme de l'acide lactique à partir du lactose.

La molécule d'acide lactique est constituée d'une chaîne de trois atomes de carbone et possède deux groupements fonctionnels. Ils sont susceptibles, dans certaines conditions, de réagir entre eux avec formation d'une molécule d'eau H₂O (un groupement apporte un atome H, l'autre groupement un groupe OH) .

Si le groupement OH appartient à une molécule d'acide lactique et l'atome H à une autre molécule d'acide lactique, les deux chaînes de trois atomes de carbone vont se trouver liées entre elles et former une chaîne de 6 atomes de carbone. Cette nouvelle chaîne se trouve en situation de réagir avec deux autres molécules d'acide lactique etc... . Il va ainsi se former une molécule constituée d'un très grand nombre d'atomes de carbone à laquelle on donne le nom de macromolécule. On y retrouve régulièrement le même motif d'atomes : c'est un polymère dont le nom officiel est polylactate.

Ce polymère est biodégradable : une hydrolyse (action d'une molécule d'eau) régénère l'acide lactique.

Schéma simplifié de l'équation de réaction :



b) Synthèse d'un polylactate

Expérience (professeur) :

Produits :

- acide lactique pur (liquide à température ambiante),
- acide sulfurique concentré.

Matériel :

- plaque chauffante,
- thermomètre,
- agitateur de verre,
- bécher (ou équivalent car non récupérable en fin d'expérience).

Mode opératoire :

Les conditions nécessaires à cette réaction sont : une température élevée et la présence d'un catalyseur « déclenchant » la réaction : l'acide sulfurique.

- Introduire environ 10 mL d'acide lactique dans le bécher.
- Ajouter quelques gouttes d'acide sulfurique.
- Placer le bécher sur une plaque chauffante et porter progressivement la température à 110°C (ne pas dépasser cette valeur).
- Laisser chauffer pendant environ 30 minutes, en surveillant attentivement. Agiter de temps en temps.
- Sortir le thermomètre, le laver soigneusement immédiatement.
- Laisser refroidir le mélange : il se solidifie et reste transparent, c'est le polymère.

3. LE SECOND SOUFFLE DES MATERIAUX BIODEGRADABLES

Activité documentaire (à faire à la maison) :

La technologie, l'utilisation et le marché des matériaux biodégradables sont en plein développement. Pare-chocs de voiture, couche-culotte pour bébé ou carte de crédit, trouvera-t-on demain du biodégradable partout ?

En Suède, une chaîne de restauration rapide propose à ses clients des couverts biodégradables à base d'amidon de maïs. En Angleterre, une banque a remplacé le PVC de ses cartes de paiement par un polyester biodégradable obtenu à partir de sucre de betterave. Coup de pub ou réelle tendance du marché ? Les matériaux biodégradables vont-ils devenir d'usage courant ?

Un matériau est dit biodégradable s'il a la capacité d'être dégradé par des micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et les algues. Le résultat final de cette dégradation doit être de l'eau, du dioxyde de carbone ou du méthane. Les matériaux naturels issus de végétaux tels que le bois, le liège, le lin ou le coton sont biodégradables. « Ils sont connus depuis des millénaires. Mais nous constatons réellement un engouement pour ces produits depuis quelques années », souligne Louis Wallaert, directeur de la société Batichanvre, une entreprise grenobloise qui fabrique des briques de chanvre pour la construction. Le côté « naturel à faible impact sur l'environnement » séduit, il est vrai, de plus en plus le consommateur. La nouveauté est que l'on commence à trouver ces matières dans des usages inhabituels. La paille compressée ou le maïs broyé servent d'isolant dans les habitations. Des couverts jetables à base de son compacté sont sur le point d'être commercialisés. Des garnitures internes de portière de voitures existent maintenant en fibre de lin ou de sisal et les constructeurs automobiles envisagent même de faire des pare-chocs en fibres végétales consolidées par une résine biodégradable. Mais les matériaux biodégradables ne se limitent pas aux seuls produits naturels. Les matières plastiques deviennent elles aussi biodégradables. Alors qu'il faut parfois plusieurs centaines d'années pour dégrader un plastique ordinaire, quelques mois suffisent à ces nouveaux matériaux pour être réduits en eau et dioxyde de carbone au contact de micro-organismes. Leur origine est synthétique ou à

base de ressources végétales. La plupart des grands chimistes industriels en proposent maintenant dans leur gamme de plastiques.

Ainsi, vous pouvez trouver des boîtes de rillettes en Polynat. Cette matière distribuée par le Français Roverc'h est issue de la gélification d'amidon de farine de seigle, plastifiée à l'aide d'alcools naturels. L'Eco-Pla, commercialisé par la firme américaine Cargill Dow Polymers est purement synthétique. Il est obtenu à partir de polymères de synthèse, les polyesters aliphatiques. On en fait des films agricoles ou des pots de yaourt. D'autres produits combinent polymères de synthèse et matières naturelles. Le Mater-Bi fabriqué depuis près de sept ans par l'Italien Novamont associe l'amidon du maïs à des polymères synthétiques (les poly-epsilon-caprolactones). Ses applications vont des couches-culottes aux sacs de supermarché, en passant par les coton-tiges ou les assiettes jetables.

Malgré des utilisations et des technologies en pleine évolution, les plastiques biodégradables sont cependant encore très marginaux. La production mondiale annuelle est actuellement de 14 000 tonnes, soit moins de 0,02 % de celle des plastiques ordinaires. Leur coût élevé reste leur principal handicap : ils sont de 1,3 à 10 fois plus chers. Et leurs propriétés mécaniques n'égalent pas encore celles de leurs concurrents. Alors ces matériaux ont-ils réellement un avenir ? « Oui », affirme Véronique Bellon-Maurel, directrice de recherche au Cemagref et membre du comité français pour la biodégradabilité. « Les réglementations antipollution vont pousser les industriels à développer ces produits. À partir de 2002, les décharges ne pourront plus recueillir les déchets plastique usagés. Une des solutions pourrait donc être de produire de la matière qui se dégrade comme des végétaux ».

Questions :

- 1) *Comment un matériau biodégradable est-il défini dans le texte ?*
- 2) *Quels sont les produits de cette transformation ?*
- 3) *Quelles sont les sources possibles de matériaux biodégradables ?*
- 4) *Définir succinctement le terme de « polymère ». Citer quelques exemples.*
- 5) *Citer des utilisations de matériaux biodégradables.*
- 6) *Pourquoi ces matériaux biodégradables ne sont pas encore très utilisés ?*