

UNE VIE DE PLASTIQUE

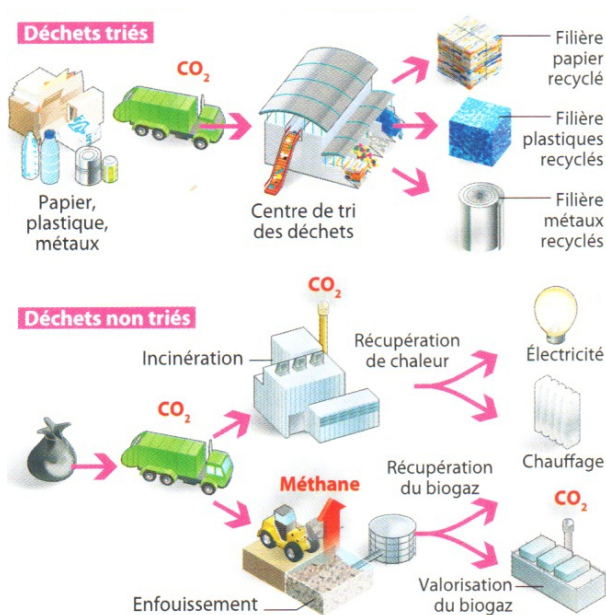
CONTEXTE DU SUJET

Pétrole, déchets agricoles : les matières premières nécessaires à la fabrication des plastiques se diversifient. Quelles sont les différentes étapes de la vie d'un plastique ? Qu'advient-il de ces plastiques une fois jetés ?

DOCUMENTS MIS À DISPOSITION

DOCUMENT I : LE TRI DES MATIÈRES PLASTIQUES DANS LES ORDURES MÉNAGÈRES

Suite au tri sélectif des déchets (voir ci-dessous), les plastiques sont transportés vers les usines de transformation où ils seront recyclés ou valorisés.



Chaîne de tri des déchets

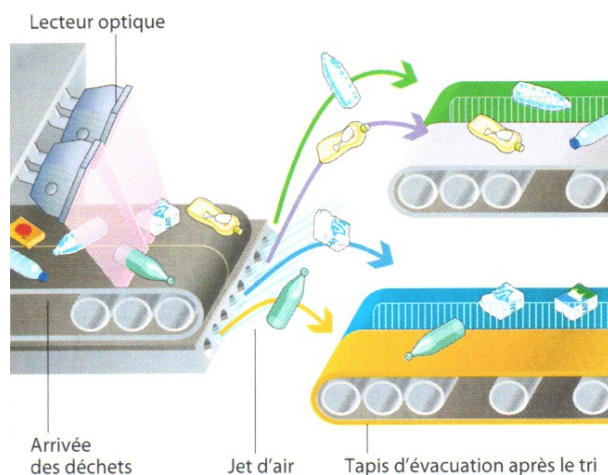
Une première méthode de valorisation est l'utilisation des plastiques sans les trier entre eux. Les mélanges sont fondus puis mis en forme mais les propriétés mécaniques des matériaux obtenus sont médiocres.

Pour améliorer ces propriétés, les matières plastiques peu denses sont séparées des autres par flottation dans l'eau. Les mélanges obtenus sont associés à d'autres matériaux pour former des palettes de manutention ou des éléments de mobilier urbain.

Polymère	Densité
Polyéthylène haute densité (PE-HD)	0,95
Polyéthylène basse densité (PE-BD)	0,92
Polytéréphtalate d'éthylène (PET)	1,30
Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	1,18
Polypropylène (PP)	0,91
Polychlorure de vinyle (PVC)	1,38

Pour obtenir de meilleures propriétés mécaniques, un tri poussé des plastiques est nécessaire. Aujourd'hui, les polymères sont identifiés par des méthodes optiques utilisant des rayonnements dans l'infrarouge ou le visible (voir ci-dessous) : l'infrarouge détermine la nature chimique, le visible renseigne sur la couleur. L'efficacité de l'identification par ce procédé peut dépasser 99%.

Une fois triés, les plastiques sont utilisés pour fabriquer de nouveaux matériaux : le PET recyclé permet par exemple de produire de la laine polaire.



Trieur optique associé à une soufflerie

Valorisation chimique de la matière

Le but est de réaliser des produits chimiques intermédiaires utilisables pour de nouvelles synthèses ou pouvant être réintégrés dans la production de nouvelles pièces.

Le recyclage chimique repose sur le principe de la dépolymérisation par solvolysse. Cette technique consiste à traiter un polymère ou un composite à matrice polymère par un solvant réactif capable de dépolymériser la résine en coupant les liaisons présentes dans le réseau macromoléculaire, conduisant à un mélange liquide de produits de dépolymérisation. On parle, suivant les cas, de glycolyse, d'acidolyse, d'hydrolyse ou d'alcoololyse lorsque le traitement chimique fait appel respectivement à un glycol, un acide, de l'eau ou un alcool.

La technique est industriellement développée principalement pour des polymères thermoplastiques, notamment le PET ou le PVC, pour lequel il existe des procédés industriels bien maîtrisés. La structure chimique très stable, réticulée, des résines thermodurcissables rend leur dépolymérisation plus délicate mais toutefois envisageable, notamment dans le cas, le plus étudié, des polyesters insaturés.

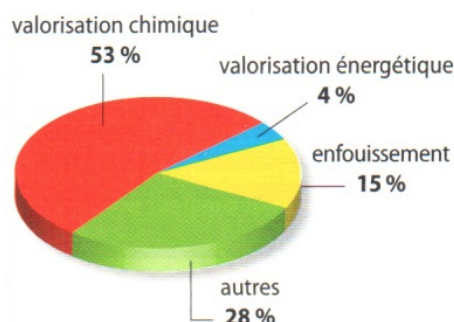
Appliqué au recyclage des composites, un procédé performant de solvolysse permet, de par la perte de propriétés mécaniques de la matrice, de « désassembler » le matériau.



Incinérateur de déchets

Valorisation énergétique

L'incinération des déchets consiste à réduire leur volume en les brûlant. Ce procédé fournit de l'énergie qui peut ensuite être récupérée et valorisée, par exemple, en la réinjectant dans les réseaux de chauffage et d'eau chaude, ou en alimentant une turbine pour produire de l'électricité. Lors de l'incinération, de nouveaux déchets sont produits : mâchefers (résidus solides recyclables), cendres et fumées. Ces dernières contiennent de nombreuses substances toxiques (oxydes d'azote, métaux lourds). L'incinération des déchets est aussi émettrice de dioxyde de carbone.



Gestion des déchets plastiques en France (d'après l'ADEME)

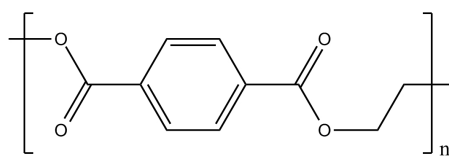
Valoriser des déchets, c'est isoler et récupérer dans les déchets des matières premières dites secondaires, ou de l'énergie.

Recycler consiste à réintroduire, dans une chaîne de production, un déchet en remplacement total ou partiel d'une matière première vierge.

Les polymères **thermoplastiques** se ramollissent lors de leur chauffage. Leurs chaînes sont le plus souvent linéaires.

Les polymères **thermodurcissables** durcissent lors de leur chauffage. Leurs chaînes sont réticulées (c'est-à-dire reliées entre elles) et forment une structure tri-dimensionnelle.

Le **polytéréphtalate d'éthylène**, plus connu sous le nom de polyéthylène téréphtalate (ou PET) est un plastique de type polyester. Sa formule chimique est donnée ci-dessous.



Polyéthylène téréphtalate – P.E.T.

DOCUMENT III : POUVOIR CALORIFIQUE INFÉRIEUR DE QUELQUES MATÉRIAUX

Le pouvoir calorifique inférieur, noté PCI, correspond à l'énergie thermique, ou chaleur, dégagée par la combustion d'une unité de masse de combustible. Il s'exprime généralement en $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

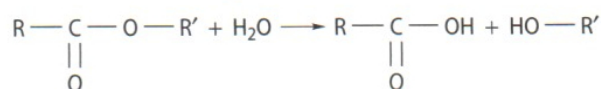
Matériau	Gaz naturel	Charbon	Polyéthylène	Polystyrène	Polychlorure de vinyle	Polyéthylène téréphtalate
PCI (en $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	38	29	46	46	20	45

D'après le site web du Cercle National du Recyclage, www.cercle-recyclage.asso.fr

DOCUMENT IV : VIEILLISSEMENT DES MATIÈRES PLASTIQUES

Les matières plastiques sont de plus en plus utilisées : il devient donc indispensable de se préoccuper de leur vieillissement. Le vieillissement d'un matériau est une évolution lente et irréversible des propriétés, due à des modifications de sa structure ou de sa composition. Ce processus touche toujours un petit groupe d'atomes, comme le groupement ester qui, modifié par

hydrolyse, conduit à des groupements acide et alcool selon la réaction ci-dessous. La formation d'acides et d'alcools modifie alors les propriétés du matériau.



DOCUMENT V : L'HYDROPHILIE : UNE CONSÉQUENCE DU VIEILLISSEMENT

Le vieillissement modifie entre autres la polarité des molécules. Si un polymère peu polaire est transformé en molécules très polaires, cela peut avoir de graves conséquences sur les propriétés du matériau.

Par exemple, l'hydrolyse des polyesters peut rendre le polymère très hydrophile. En effet, la capacité d'absorption d'eau dépend essentiellement de deux facteurs : d'une part la force des liaisons hydrogène que les groupements présents dans le polymère sont ca-

pables d'établir avec les molécules d'eau et d'autre part la concentration de ces groupements.

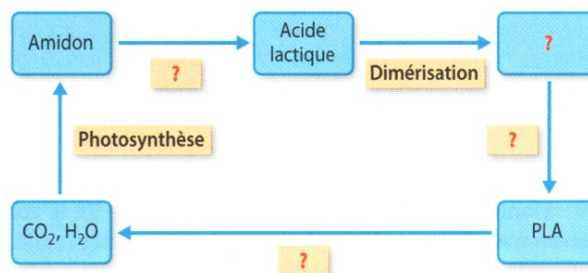
L'hydrolyse d'un polyester crée des groupements acide et alcool beaucoup plus hydrophiles que les groupements de départ. L'augmentation de l'hydrophilie peut être responsable d'une auto-accélération du vieillissement hydrolytique puisque la vitesse d'hydrolyse est sensiblement proportionnelle à la concentration en eau dans le polymère.

DOCUMENT VI : LE PLA : UN PLASTIQUE BIODÉGRADABLE

Les plastiques biodégradables sont dégradés par des micro-organismes (bactéries, champignons, algues). Généralement, cette propriété est liée à la présence de liaisons covalentes qui peuvent facilement être rompues, comme dans les esters ($\text{OC} - \text{O}$) ou les amides ($\text{OC} - \text{N}$). Grâce aux enzymes qu'ils fabriquent, les micro-organismes utilisent les produits de dégradation de ces polymères comme source de carbone et d'énergie.

L'acide polylactique (ou PLA) est biocompatible (son utilisation est possible pour des applications biomédicales et pharmaceutiques) et biodégradable. Son cycle de vie est présenté ci-contre. Le PLA est utilisé

comme peau artificielle, fils de suture biorésorbables, implants orthopédiques ou encore systèmes à libération contrôlée de médicaments.



ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT

À l'aide de vos connaissances et des documents ci-dessus, vous vous appliquerez, à travers le questionnaire suivant, à répondre au problème suivant :

Depuis des décennies, l'utilisation et la production des plastiques augmentent continûment.

Qu'advient-il de ces plastiques une fois jetés ?

Quelles sont les principales étapes de la vie d'un plastique ?

1. Questionnement

- 1.1. Quel est le constituant principal d'une matière plastique ? Pourquoi parle-t-on de macromolécules à propos des polymères ? Expliquer la différence de comportement entre les polymères thermodurcissables et les polymères thermoplastiques.
- 1.2. Quelle particularité structurale du PLA rend ce polymère facilement dégradé par les micro-organismes ? Compléter le cycle de vie du PLA. Pour un patient, quel est l'intérêt des fils de structure en PLA ?
- 1.3. Comment peut se manifester, à l'échelle macroscopique, le vieillissement d'un plastique ? Est-il lent ou rapide ? Quel facteur cinétique accélère la réaction ?
- 1.4. Dans le cas du PET, entourer le groupement qui pourrait être la cible du vieillissement et le nommer. Écrire l'équation de la réaction décrivant ce processus, pour un seul motif du PET. Entourer les motifs « acide » et « alcool » dans les produits.
- 1.5. Proposer une définition du terme hydrophile. En quoi l'hydrolyse des esters favorise-t-elle l'hydrophilie ?
- 1.6. Représenter une liaison hydrogène entre une molécule d'eau et la molécule d'acide carboxylique formée lors de la réaction écrite précédemment.
- 1.7. À court terme, en quoi le vieillissement des matières plastiques peut-il représenter un danger environnemental ? À plus long terme, en quoi le vieillissement des matières plastiques pose-t-il un problème dans la gestion des déchets ?
- 1.8. *Suite au tri sélectif des déchets, les plastiques sont à nouveau triés selon leurs propriétés physico-chimiques pour être transformés, recyclés ou valorisés.* Résumer les critères de tri de ces matières plastiques et les différentes techniques utilisées. En quoi la spectroscopie infrarouge peut-elle aider au tri des matières plastiques ?
- 1.9. Quelles sont les deux voies les plus utilisées en France pour réutiliser les déchets plastiques ? Quelle est la principale différence technique entre les deux procédés ?
- 1.10. Nommer la réaction chimique mise en jeu dans les incinérateurs. Écrire l'équation-bilan de l'incinération du PVC de formule brute $C_{2n}H_{3n}Cl_n$ sachant qu'il se forme, entre autres, au cours de la réaction, du dioxyde de carbone et de l'eau. Que peut-on dire d'un point de vue écologique de la nature des rejets obtenus ? L'incinération est-elle une méthode intéressante pour éliminer ce polymère ? Argumenter.
- 1.11. Pour quel type de matière plastique la valorisation chimique est-elle difficile ? Pourquoi ?

2. Conclusion

- 2.1. Pourquoi le terme de « recyclage » est-il adapté pour la valorisation chimique et le terme d'« élimination » pour la valorisation énergétique ?
- 2.2. Faire un schéma annoté présentant le cycle de vie d'un objet plastique. On pourra différencier les matériaux thermoplastiques des matériaux thermodurcissables.