

Ch. 17 UNE CHIMIE POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE

Notions et contenus	Compétences exigibles
Apport de la chimie au respect de l'environnement Chimie durable : - économie d'atomes ; - limitation des déchets ; - agro ressources ; - chimie douce ; - choix des solvants ; - recyclage. Valorisation du dioxyde de carbone.	Extraire et exploiter des informations en lien avec : - la chimie durable, - la valorisation du dioxyde de carbone pour comparer les avantages et les inconvénients de procédés de synthèse du point de vue du respect de l'environnement.

ACTIVITE 2 : LES BIOPLASTIQUES SONT-ILS VERTS ? Etude documentaire p : 440

Le terme « bioplastique » recouvre deux réalités distinctes selon qu'est prise en compte la ressource ou la fin de vie. Qu'est-ce qu'un bioplastique ?

• Les plastiques biosourcés

Les plastiques biosourcés, issus de matières premières végétales (maïs, ricin, colza, etc.), ont des performances similaires aux plastiques issus du pétrole. Leur intérêt provient du caractère renouvelable des ressources utilisées ainsi que d'un **bilan carbone** réduit, car, lors de la synthèse chlorophyllienne, les plantes consomment le dioxyde de carbone, gaz à effet de serre.

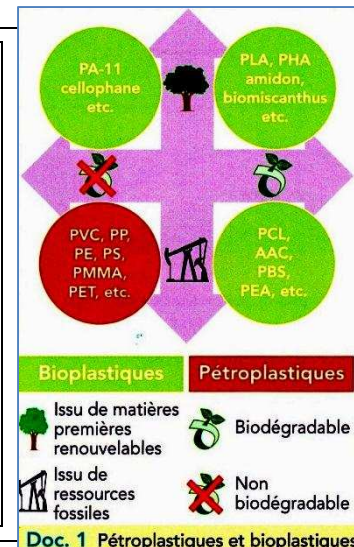
Cependant, des zones d'ombre restent à éclaircir :

- le développement des agroressources peut entrer en concurrence avec les cultures destinées à l'alimentation;
- l'impact environnemental doit être étudié en prenant en compte l'intégralité du processus de production (engrais, eau d'irrigation, etc.),

ainsi que la fin de vie (certains bioplastiques ne sont pas biodégradables (doc.1 ci-contre).

Des industriels agissent pour répondre en partie à ces problématiques. Ainsi, le PA-11 (ou Rilsan®) fabriqué à partir de l'huile de ricin, est une matière plastique dont les performances sont semblables au Nylon®.

La société française Arkema®, qui la commercialise, affirme que le ricin planté dans des régions semi-arides n'entre pas en concurrence avec des produits alimentaires.

**• Les plastiques biodégradables**

Doc. 2 Le roseau de Chine (*Miscanthus Giganteus*) est la matière première utilisée pour fabriquer le biomiscanthus, bioplastique de deuxième génération, 100 % biodégradable.

On qualifie aussi de « bioplastiques » des plastiques biodégradables, qu'ils soient issus de matières premières **fossiles** ou **renouvelables**.

Les bioplastiques issus de ressources non *vivrières* sont appelés bioplastiques de deuxième génération (doc. 1). La « biodégradabilité » est définie par la norme européenne EN13342 qui stipule notamment que le matériau doit atteindre 90 % de biodégradation en moins de 6 mois (doc. 2 ci-contre). Un matériau biodégradable n'est pas forcément **compostable**.

Il existe également des plastiques « biofragmentables », mélanges de pétroplastiques et d'additifs végétaux

(amidon, etc.) ou minéraux (nickel, etc.) dont la fin de vie se traduit par une dégradation sous forme de fragments plus ou moins visibles, mais non biodégradables

Q1. Rechercher la définition des mots ou expressions en italique.

Q2. À quels principes de la chimie verte les plastiques biosourcés répondent-ils (voir la liste des 12 principes dans l'Essentiel, p. 448)? Entrent-ils dans le cadre d'une chimie durable (activité 1)?

Q3. Rechercher à quels matériaux plastiques correspondent les sigles du document 1 p : 438.

Q4. a. Rechercher les quatre critères définissant la norme EN13432.

b. Pourquoi un plastique fragmentable n'est-il pas nécessairement biodégradable?

Quelles peuvent être les conséquences environnementales de l'usage de ces plastiques?

Q5. À quels principes de la chimie verte les plastiques biodégradables répondent-ils? Entrent-ils dans le cadre d'une chimie durable ?

Réponses de l'activité 2 p : 440 : LES BIOPLASTIQUES SONT-ILS VERTS ?

Q1. Bilan carbone : outil de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre.

Matières premières *fossiles* : ressources naturelles non renouvelables (comme le pétrole), car élaborées durant des centaines de millions d'années.

Matières premières *renouvelables* : ressources non tarissables, car leur vitesse de renouvellement est plus grande que leur vitesse de disparition.

Ressources *vivrières* : ressources issues d'une agriculture essentiellement tournée vers l'autoconsommation et l'économie de subsistance.

Matériau *compostable* : matériau pouvant être dégradé par des micro-organismes (champignons microscopiques et bactéries).

Q2. Ils répondent essentiellement aux principes 4, 7, 8 et 10.

Dans la mesure où certains bioplastiques peuvent entrer en concurrence avec les denrées alimentaires, l'aspect social n'est pas pris en compte : la chimie de certains bioplastiques n'est pas durable. De plus, l'impact environnemental n'est pas négligeable (usage de quantités d'eau importantes, d'engrais, de pesticides, etc.).

Q3. PA-11: polyamide 11; PLA: acide polylactique; PHA: polyhydroxyalcanoates; PVC : polychlorure de vinyle ;

PP: polypropylène; PE: polyéthylène; PS: polystyrène; PMMA : polyméthacrylate de méthyle ; PET: polyéthylène téréphtalate;

PCL: polycaprolactone; AAC : aliphatiques aromatiques copolyesters ; PBS: polybutylènesuccinate; PEA: polyesteramide.

Q 4 a. ① Biodégradabilité : 90 % de biodégradation en moins de six mois doit être atteint.

② Désintégration : la totalité des résidus

supérieurs à 2 mm doit être inférieure à 10 % de la masse initiale après trois mois de fragmentation sous l'effet d'un compost.

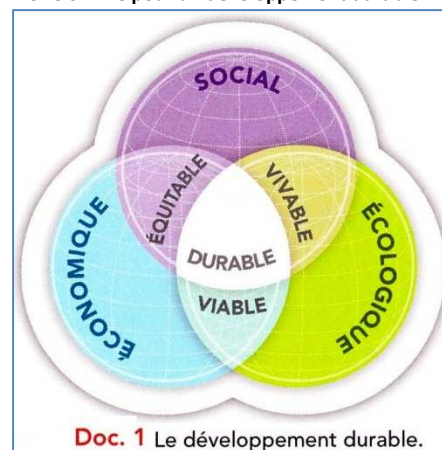
③ Composition : un taux maximal défini des solides volatils et de métaux lourds doit être respecté.

④ Écotoxicité : la qualité du compost ne doit pas être modifiée ; le résidu ne doit pas être toxique pour l'environnement.

b. La fin de vie d'un plastique biofragmentable se traduit par une fragmentation et non par une disparition. La pollution, même si elle peut être invisible, reste néanmoins importante.

ESSENTIEL Ch.17. Chimie pour un développement durable**LES PRINCIPES D'UNE CHIMIE DURABLE.**

- Le **développement durable** (doc. 1) est une synthèse entre l'économie (« produire »), le social (« répartir ») et l'environnement (« préserver »).
- La **chimie durable** s'inscrit dans une logique de développement durable. Sa mise en œuvre industrielle veille à l'équilibre **social, environnemental** et **économique** :
 - économiser et partager les ressources de manière équitable;
 - utiliser des technologies qui polluent moins et consomment moins d'énergie;
 - développer des procédés suffisamment efficaces et rentables.
- La **chimie verte** a pour but de limiter l'impact négatif de la chimie sur l'environnement et l'homme.
- La **chimie du végétal** et la **chimie douce** sont des parties très importantes de la chimie verte.
 - * La première s'oriente vers l'utilisation des matières premières végétales.
 - * La seconde a pour ambition de synthétiser des matériaux en s'inspirant du vivant et en mettant en jeu des conditions opératoires plus « douces » (température modérée, pression atmosphérique, etc.).

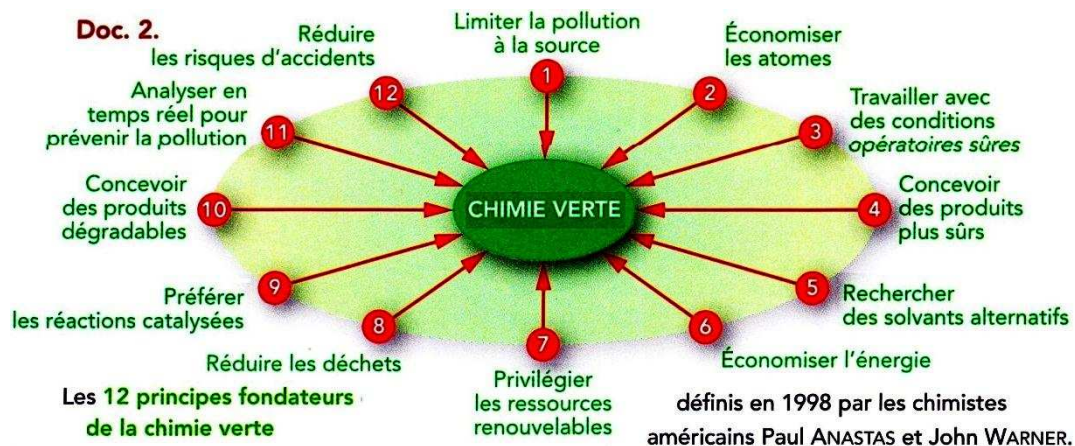


Doc. 1 Le développement durable.

La prise en compte de la globalité des processus chimiques mis en jeu lors de la synthèse d'un produit est indispensable.

La chimie verte (doc. 2) se propose d'agir sur **cinq domaines** :

- *les **matières premières**,
- *les **solvants**,
- *l'**énergie**,
- *les **déchets**
- *et le **produit fini**.



Doc. 2.

LA SEQUESTRATION ET LA VALORISATION DU DIOXYDE DE CARBONE

Dans les années à venir, la chimie va devoir relever de nombreux défis comme **la réduction des émissions de gaz à effet de serre** (méthane CH₄, dioxyde de carbone CO₂, oxyde d'azote N₂O, etc.). Pour empêcher le dioxyde de carbone de s'échapper dans l'atmosphère, des méthodes telles que :

- la séquestration souterraine dans des gisements épuisés de pétrole, de gaz ou des aquifères;
- la captation par des organismes photosynthétiques, comme les algues, afin de produire des biocarburants, sont à l'étude.

Le dioxyde de carbone peut être également valorisé lorsqu'il est utilisé comme solvant supercritique, par exemple.

QCM p : 449

LES PRINCIPES D'UNE CHIMIE DURABLE.

	A. L'ÉCONOMIE	B. L'ENVIRONNEMENT	C. LE SOCIAL
Le développement durable a pour pilier :	tient compte des problèmes économiques et sociaux	n'utilise que des matières premières renouvelables	se préoccupe de la sauvegarde de l'environnement.
La chimie durable :	n'utilise que des conditions opératoires douces		se préoccupe de la sauvegarde de l'environnement
Une chimie verte :			
Une chimie verte se propose d'agir sur la gestion :			de l'énergie
La chimie douce a pour ambition de :	synthétiser des matériaux en s'inspirant du vivant		développer des synthèses à des températures modérées
Economiser les atomes, c'est :	utiliser au maximum tous les atomes d'une matière première		limiter la formation des déchets
Une agroressource :	est une ressource renouvelable	peut concurrencer les ressources alimentaires	
Gérer l'usage des solvants, c'est :		limiter l'usage des solvants dangereux dans l'environnement	rechercher des alternatives aux solvants classiques.
Economiser l'énergie, c'est :	utiliser des conditions opératoires « plus douces »	utiliser des procédés qui consomment moins d'énergie	
Choisir un procédé catalytique :		peut permettre d'économiser des atomes	permet d'économiser l'énergie
Dans le cadre d'un développement durable, une gestion raisonnée des déchets, c'est :	détecter des produits toxiques, même à l'état de traces.		valoriser toutes les molécules utilisables au sein d'une matière première.

LA VALORISATION DU DIOXYDE DE CARBONE

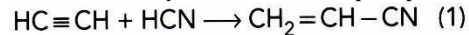
Les gaz suivants sont à effet de serre :	Le méthane	Le dioxyde de carbone
Valoriser le dioxyde de carbone, c'est développer, par exemple, des procédés de	captage par des algues	

Exercice résolu. p : 450 n°3. Calculer une économie d'atomesÉnoncé

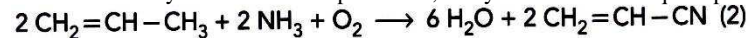
Compétences : Calculer ; Faire preuve d'esprit critique.



Avant 1950, l'acrylonitrile était fabriqué à partir d'acétylène et de cyanure d'hydrogène :



Le procédé de fabrication du cyanure d'hydrogène était simple, mais inadapté à une production importante, et celui de l'acétylène est cher. Depuis 1957, l'acrylonitrile est fabriqué à partir de propène :



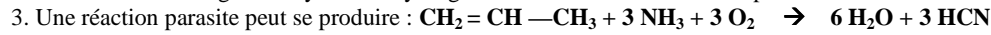
1. a. L'économie d'atomes EA est définie comme le rapport de la masse molaire du (ou des) produit(s) recherché(s) sur la somme des masses molaires des réactifs (en tenant compte des nombres stœchiométriques) :

$$EA = \frac{\sum a_i \times M_i (\text{produit})}{\sum b_j \times M_j (\text{réactif})} \quad \text{avec } a_i \text{ et } b_j \text{ nombres stœchiométriques.}$$

Calculer l'économie d'atomes des réactions. Commenter.

- b. En considérant que l'eau n'est pas un déchet, quelle valeur prend l'économie d'atomes de la réaction (2)?

2. Rechercher les dangers du cyanure d'hydrogène. Commenter l'abandon du procédé.



Doit-on nuancer les réponses données aux questions précédentes ?

Conseils :**1. Comment calculer une économie d'atomes ?**

Dans l'équation de la réaction, calculer la masse molaire du produit attendu et les masses molaires de tous les réactifs.

Effectuer le rapport sans oublier les nombres stœchiométriques. Si l'eau n'est pas un déchet, sa masse molaire doit être prise en compte dans le calcul.

2. Comment connaître les risques associés à un produit chimique ? Se référer aux mentions de danger (codes H) présents sur l'étiquette.Solution rédigée

1. a. Pour les réactions (1) et (2) : $EA_1 = \frac{M_{\text{CH}_2\text{CHCN}}}{M_{\text{C}_2\text{H}_2} + M_{\text{HCN}}} = \frac{53}{(26 + 27)} = 1,0$ $EA_2 = \frac{2M_{\text{CH}_2\text{CHCN}}}{2M_{\text{CH}_2\text{CHCH}_3} + 2M_{\text{NH}_3} + M_{\text{O}_2}} = \frac{106}{(84 + 34 + 32)} = 0,71$

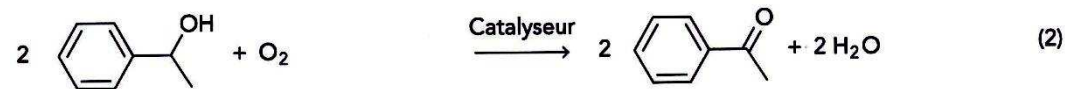
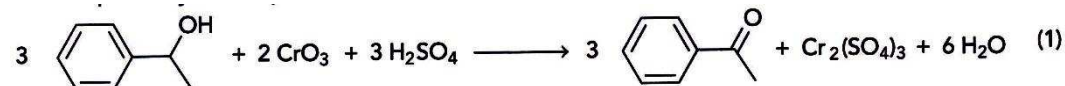
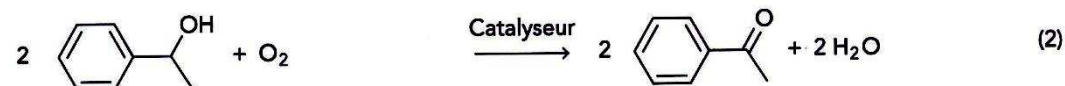
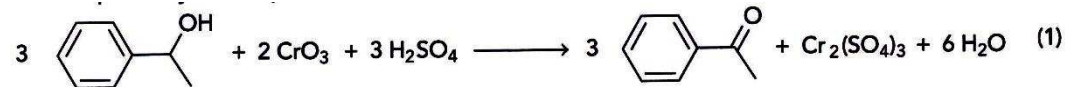
L'économie d'atomes est plus grande avec le procédé (1).

- b. Si l'eau n'est plus comptée comme un déchet : EA2 = 1,0.

2. Le cyanure d'hydrogène est extrêmement inflammable, mortel par inhalation et très toxique pour les organismes aquatiques.

Le procédé a été abandonné notamment pour travailler dans des conditions opératoires plus sûres et réduire les risques d'accidents.

3. Cette réaction produit du cyanure d'hydrogène : c'est un déchet, donc l'EA2 est réduite; de plus il présente des dangers.

Application immédiate (à faire) p : 450 n°3. Calculer une économie d'atomesL'oxydation catalytique du 1-phényléthanol par le dioxygène (réaction 2) est-elle plus économe en atomes que l'oxydation par le réactif de Jones (réaction 1) ? L'eau est considérée comme un déchet. $M(\text{Cr}) = 52,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ Application immédiate p : 450 n°3. Calculer une économie d'atomes. Solution :L'oxydation catalytique du 1-phényléthanol par le dioxygène (réaction 2) est-elle plus économe en atomes que l'oxydation par le réactif de Jones (réaction 1) ? L'eau est considérée comme un déchet. $M(\text{Cr}) = 52,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 

$$EA1 = \frac{3 \times M(\text{C}_8\text{H}_8\text{O})}{3 \times M(\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}) + 2 \times M(\text{CrO}_3) + 3 \times M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{3 \times 120}{3 \times 122 + 2 \times 100 + 3 \times 98,1} = \frac{360}{860,3} = 0,42$$

$$EA2 = \frac{2 \times M(\text{C}_8\text{H}_8\text{O})}{2 \times M(\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}) + M(\text{O}_2)} = \frac{2 \times 120}{2 \times 122 + 32} = \frac{240}{276} = 0,87$$

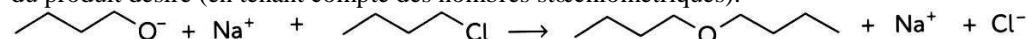
EA2 > EA1 : l'économie d'atomes n'est pas plus grand pour la réaction 2.

Exercice résolu. p : 451 n°4. Interpréter un facteur environnementalÉnoncé

Compétences : Calculer ; Faire preuve d'esprit critique.

La synthèse du 1-butoxybutane, un étheroxyde (**doc. 1**), peut se faire par substitution entre un alcoolate (l'ion butanolate) et un halogénoalcane (le 1-chlorobutane). Le bilan global peut s'écrire :

Il est possible de calculer un indicateur, appelé « facteur environnemental E », qui évalue l'impact d'un procédé sur l'environnement. Le facteur E théorique est le quotient de la masse molaire des déchets par la masse molaire du produit désiré (en tenant compte des nombres stœchiométriques).



- a. Exprimer, puis calculer, le facteur E théorique pour cette synthèse.
 - Un bon facteur E a-t-il une valeur grande ou petite ?
 - Commenter la valeur calculée en fonction de la nature du déchet produit.
- En pratique, cette synthèse est réalisée à reflux dans un solvant, tel que le diméthylsulfoxyde (DMSO). En outre, les quantités utilisées ne sont pas dans les proportions stœchiométriques. Quelle conséquence cela peut-il avoir sur la valeur du facteur environnemental ?



Doc.1. La décomposition d'un étheroxyde est responsable de la bioluminescence de certains insectes comme la luciole.

Conseils

1. Comment calculer un facteur environnemental théorique ?

Le facteur E est donné par le quotient :

$$E = \frac{\sum a_i \times M_i (\text{déchet})}{\sum b_j \times M_j (\text{produit})}$$

avec a_i et b_j nombres stœchiométriques.

2. Repérer, dans l'équation de la réaction, le produit attendu et en déduire les déchets.

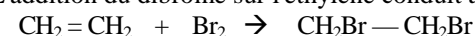
Le facteur environnemental théorique est calculé à partir des masses molaires des espèces et ne tient donc compte ni des quantités apportées, ni du solvant éventuel. En outre, le facteur E est calculé en supposant que le rendement de la synthèse est de 100 %.

Solution rédigée

- a. Le produit attendu est le 1-butoxybutane. Le déchet est donc le chlorure de sodium : $E = \frac{M_{\text{Na}^+} + M_{\text{Cl}^-}}{M_{\text{C}_4\text{H}_9\text{OC}_4\text{H}_9}} = \frac{(23 + 35,5)}{130} = 0,45$
 - Un bon facteur E a une valeur proche de zéro.
 - Le déchet produit est du chlorure de sodium, sans danger.
- Si les quantités ne sont pas dans les proportions stœchiométriques, il reste une quantité non négligeable du réactif en excès qu'il faut extraire ou recycler. Il en est de même pour le solvant. Ces traitements inévitables ont un impact environnemental et font augmenter le facteur E . Il est nécessaire aussi de regarder si ce procédé améliore le rendement.

Application immédiate p : 451 n°4. Interpréter un facteur environnemental.

L'addition du dibrome sur l'éthylène conduit au dibromoéthane, selon la réaction d'équation :



1. Calculer le facteur E théorique. Commenter la valeur obtenue.
2. La bromation a lieu dans un solvant qui peut être le tétrachlorométhane CCl_4 (**doc. 2**). Commenter.

Doc. 2 Étiquette du tétrachlorométhane

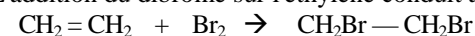
DANGER

TÉTRACHLOROMÉTHANE

H351 : Susceptible de provoquer le cancer.
 H331 : Toxique par inhalation.
 H311 : Toxique par contact cutané.
 H301 : Toxique en cas d'ingestion.
 H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.
 H412 : Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.
 EUH059 : Dangereux pour la couche d'ozone.

Application immédiate p : 451 n°4. Interpréter un facteur environnemental.Solution.

L'addition du dibrome sur l'éthylène conduit au dibromoéthane, selon la réaction d'équation :



1. Calculer le facteur E théorique. Commenter la valeur obtenue.
2. La bromation a lieu dans un solvant qui peut être le tétrachlorométhane CCl_4 (**doc. 2**). Commenter.

Doc. 2 Étiquette du tétrachlorométhane

DANGER

TÉTRACHLOROMÉTHANE

H351 : Susceptible de provoquer le cancer.
 H331 : Toxique par inhalation.
 H311 : Toxique par contact cutané.
 H301 : Toxique en cas d'ingestion.
 H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.
 H412 : Nocif pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.
 EUH059 : Dangereux pour la couche d'ozone.

1. $E = 0$: le procédé ne semble pas avoir d'impact environnemental.
2. Le tétrachlorométhane est un solvant présentant des dangers. Il faut s'en protéger et le recycler. Le facteur environnemental n'est donc pas nul. Il faudrait calculer le facteur environnemental réel.

Exercices. p : 452 – 453 Ch.17. UNE CHIMIE POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE**Les principes d'une chimie durable****N°5. p : 452. Comprendre les enjeux de la chimie durable**

En plus de s'alimenter sainement, de disposer d'eau potable ou de réduire les pollutions, l'homme doit aussi prendre soin de sa santé. Cela peut passer par l'usage de médicaments. Les chercheurs extraient de la nature des molécules thérapeutiques, les copient (plus des trois-quarts sont *bio-inspirés*) ou en synthétisent de nouvelles toujours plus efficaces, avec des procédés de moins en moins polluants. Les industriels les produisent à grande échelle lorsqu'elles sont rentables économiquement.

Si dans les pays développés la mortalité liée aux maladies infectieuses a « pratiquement » disparu, il n'en est pas de même dans les autres pays. Et, malheureusement, même si les traitements existent, les coûts de production élevés et l'insolvabilité des populations expliquent la difficulté des pays en développement à accéder aux soins.

1. Que signifie le terme en *italique*?
2. Quels sont les leviers sur lesquels il faut agir pour améliorer la santé des populations?
3. Quels rôles la chimie peut-elle jouer?
4. Expliquer, à l'aide des trois piliers du développement durable, les enjeux de l'accès aux soins.

N°6. p : 452. Pratiquer une chimie douce

À Paris, vue de la façade du Petit Palais après restauration.

La capacité naturelle de certaines bactéries à réaliser la biominéralisation, c'est-à-dire à fabriquer du carbonate de calcium, est employée en architecture. C'est le cas de la *Bacillus cereus* que l'on trouve dans le sol et qui produit une biocalcite dont on se sert pour protéger les façades des monuments.

Les pierres sont recouvertes d'un mélange bactérien (inoffensif pour l'homme et l'environnement) qui favorise la précipitation du carbonate de calcium qui se forme alors dans les microfissures de la pierre pour en augmenter la résistance.

1. Pourquoi peut-on qualifier la technique de biominéralisation de chimie douce ?
2. Les produits traditionnels de restauration sont le ciment, la chaux ou des polymères adhésifs.
 - a. Comment le ciment est-il fabriqué?
 - b. À partir de quelle ressource la plupart des polymères sont-ils synthétisés?
 - c. Quelles en sont les conséquences environnementales?
3. Justifier l'usage de la biominéralisation.

N°7. p : 452. Utiliser des solvants alternatifs

Le 2-méthyltétrahydrofurane (MeTHF), produit à partir du sucre de canne, est un *agrosolvant* alternatif au tétrahydrofurane THF, pétrosolvant. Il peut être utilisé dans de nombreuses réactions. Non miscible à l'eau, contrairement au THF, sa capacité d'extraction pour les composés polaires est meilleure. En outre, son isolement et son recyclage sont plus faciles. Le MeTHF réduit les étapes d'extraction et le volume de solvant utilisé. Il améliore les rendements.

1. a. Pourquoi qualifie-t-on le MeTHF d'*agrosolvant* ?
b. Qu'est-ce qu'un *pétrosolvant* ?
2. Le tableau suivant mentionne les dangers associés au THF et au MeTHF. Commenter.

THF		H225 : Liquides et vapeurs inflammables. H319 : Provoque une sévère irritation des yeux H335 : Peut irriter les voies respiratoires.
MeTHF		H225 : Liquides et vapeurs inflammables. H319: Provoque une sévère irritation des yeux.

3. Quels sont, parmi les principes de la chimie verte, ceux qui sont respectés (voir l'Essentiel, p. 448) ?

N°8. p : 452. Limiter les sources de pollution

Lorsque les pommes de terre atteignent un certain stade de développement, elles émettent une substance baptisée solanoécépine A. Dans le sol, les larves de nématodes réagissent à ce signal pour dévorer les tubercules.

Habituellement, ces insectes parasites sont combattus avec des pesticides chimiques. Le professeur Henk HIEMSTRA de l'université d'Amsterdam développe un procédé alternatif : pulvériser la solanoécépine de synthèse avant la plantation de pommes de terre, afin de réveiller prématurément les larves de nématodes. Ne trouvant rien à manger, elles meurent de faim. La plantation peut ensuite être effectuée.

1. @Citer les dangers liés à l'usage des pesticides.
2. Pourquoi le procédé alternatif utilisé se place-t-il dans le cadre d'une chimie verte?



Exercices résolus. p : 452 – 453 Ch.17. Une chimie pour un développement durable**Les principes d'une chimie durable****N°5. p : 452. Comprendre les enjeux de la chimie durable**

En plus de s'alimenter sainement, de disposer d'eau potable ou de réduire les pollutions, l'homme doit aussi prendre soin de sa santé. Cela peut passer par l'usage de médicaments. Les chercheurs extraient de la nature des molécules thérapeutiques, les copient (plus des trois-quarts sont *bio-inspirées*) ou en synthétisent de nouvelles toujours plus efficaces, avec des procédés de moins en moins polluants. Les industriels les produisent à grande échelle lorsqu'elles sont rentables économiquement.

Si dans les pays développés la mortalité liée aux maladies infectieuses a « pratiquement » disparu, il n'en est pas de même dans les autres pays. Et, malheureusement, même si les traitements existent, les coûts de production élevés et l'insolvabilité des populations expliquent la difficulté des pays en développement à accéder aux soins.

1. Que signifie le terme en *italique*?
2. Quels sont les leviers sur lesquels il faut agir pour améliorer la santé des populations?
3. Quels rôles la chimie peut-elle jouer?
4. Expliquer, à l'aide des trois piliers du développement durable, les enjeux de l'accès aux soins.

1. *Bio-inspirées* : inspirées de celles contenues dans les êtres vivants (animaux, végétaux).
2. Nourriture, eau potable, pollution, médicaments.
3. Fabriquer les produits à grande échelle, mais aussi proposer des procédés alternatifs plus efficaces et moins polluants.
4. *Environnement*: privilégier les ressources naturelles, améliorer les procédés pour diminuer les pollutions.
Social: permettre l'accès aux soins à des populations.
Économique: permettre l'essor de nouvelles technologies économiquement rentables.

N°6. p : 452. Pratiquer une chimie douce

À Paris, vue de la façade du Petit Palais après restauration.

La capacité naturelle de certaines bactéries à réaliser la biominéralisation, c'est-à-dire à fabriquer du carbonate de calcium, est employée en architecture. C'est le cas de la *Bacillus cereus* que l'on trouve dans le sol et qui produit une biocalcite dont on se sert pour protéger les façades des monuments.

Les pierres sont recouvertes d'un mélange bactérien (inoffensif pour l'homme et l'environnement) qui favorise la précipitation du carbonate de calcium qui se forme alors dans les microfissures de la pierre pour en augmenter la résistance.

1. Pourquoi peut-on qualifier la technique de biominéralisation de chimie douce ?
2. Les produits traditionnels de restauration sont le ciment, la chaux ou des polymères adhésifs.
 - a. Comment le ciment est-il fabriqué?
 - b. À partir de quelle ressource la plupart des polymères sont-ils synthétisés?
 - c. Quelles en sont les conséquences environnementales?
3. Justifier l'usage de la biominéralisation.

1. Température ambiante et utilisation de bactéries.
2. a. Les ciments usuels sont fabriqués par chauffage d'un mélange d'environ 80 % de calcaire (CaCO_3) et 20 % d'argile ($\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$).
b. Les polymères sont synthétisés à partir du pétrole.
c. L'épuisement des ressources et l'accroissement de l'effet de serre, entre autres, en sont les principales conséquences environnementales.
3. Les principes de la chimie verte suivants sont respectés: n°s 1, 2, 3, 6, 7, 8 et 12.

N°7. p : 452. Utiliser des solvants alternatifs

Le 2-méthyltétrahydrofurane (MeTHF), produit à partir du sucre de canne, est un *agrosolvant* alternatif au tétrahydrofurane THF, pétrosolvant. Il peut être utilisé dans de nombreuses réactions. Non miscible à l'eau, contrairement au THF, sa capacité d'extraction pour les composés polaires est meilleure. En outre, son isolement et son recyclage sont plus faciles. Le MeTHF réduit les étapes d'extraction et le volume de solvant utilisé. Il améliore les rendements.

1. a. Pourquoi qualifie-t-on le MeTHF d'*agrosolvant*?
b. Qu'est-ce qu'un *pétrosolvant*?
2. Le tableau suivant mentionne les dangers associés au THF et au MeTHF. Commenter.

THF		H225 : Liquides et vapeurs inflammables. H319 : Provoque une sévère irritation des yeux H335 : Peut irriter les voies respiratoires.
MeTHF		H225 : Liquides et vapeurs inflammables. H319: Provoque une sévère irritation des yeux.

3. Quels sont, parmi les principes de la chimie verte, ceux qui sont respectés (voir l'Essentiel, p. 448) ?

1. a. MeTHF est issu d'agroressources.
b. Un pétrosolvant est issu du pétrole.
2. Le MeTHF n'irrite pas les voies respiratoires, mais présente néanmoins des risques.
3. Les principes n° 4 et n° 12 (la sécurité est légèrement améliorée puisque le MeTHF n'irrite pas les voies respiratoires ; les étapes d'extraction étant réduites, on limite les risques d'accident) ; les principes n° 5, no 7, n° 8 (le volume de solvant utilisé est réduit) et no 10.

N°8. p : 452. Limiter les sources de pollution

Lorsque les pommes de terre atteignent un certain stade de développement, elles émettent une substance baptisée solanoécépine A. Dans le sol, les larves de nématodes réagissent à ce signal pour dévorer les tubercules.

Habituellement, ces insectes parasites sont combattus avec des pesticides chimiques. Le professeur Henk HIEMSTRA de l'université d'Amsterdam développe un procédé alternatif : pulvériser la solanoécépine de synthèse avant la plantation de pommes de terre, afin de réveiller prématurément les larves de nématodes. Ne trouvant rien à manger, elles meurent de faim. La plantation peut ensuite être effectuée.



1. @Citer les dangers liés à l'usage des pesticides.
2. Pourquoi le procédé alternatif utilisé se place-t-il dans le cadre d'une chimie verte?

1. Cancer, malformations congénitales, infertilité, problèmes neurologiques, système immunitaire affaibli sont fréquents.
2. Ce procédé respecte les principes de la chimie verte nos 1, 3, 8 et 10.