

Thème : Matière et matériaux

Chapitre : Propriétés des matériaux et organisation de la matière

Objectifs :

- Citer des métaux et alliages usuels et quelques exemples de matériaux organiques, minéraux et composites.
- Conduire des tests permettant de distinguer et d'identifier des matériaux à partir de banques de données (densités, aspects, combustions, corrosions, etc).
- Choisir, à partir d'un cahier des charges, des matériaux en fonction de propriétés physiques attendues : électriques, thermiques, mécaniques, optiques et magnétiques.
- Déterminer ou mesurer quelques caractéristiques physiques de matériaux (résistivité électrique, résistance thermique surfacique, indice de réfraction, etc.).
- Rechercher, extraire et exploiter des informations relatives à la production industrielle, l'utilisation et le recyclage de quelques matériaux usuels.
- Établir les schémas de Lewis de l'eau, du dioxygène, du dioxyde de carbone et du chlorure d'hydrogène.
- Reconnaître une molécule et une macromolécule organique. Passer des formules développées aux formules semi-développées et aux formules brutes.
- Reconnaître les groupes caractéristiques des fonctions alcool et acide carboxylique.
- Calculer une masse molaire moléculaire à partir des masses molaires atomiques des éléments qui composent la molécule.
- Déterminer une concentration d'un soluté dans une solution à partir d'un protocole de préparation de celle-ci ou à partir de mesures expérimentales.
- Réaliser une solution de concentration donnée par dilution ou dissolution d'un soluté.
- Adapter son attitude en fonction des pictogrammes des produits utilisés et aux consignes de sécurité correspondantes.

Sommaire

1. Cours	2	3. Activité 2 : Quels usages et quel recyclage pour les polymères ?	8
1.1 Les matériaux et leurs propriétés	2		
1.2 Organisation de la matière : les molécules	3		
1.3 Les macromolécules	5	4. Activité 3 : Agiter pour décolorer	10
2. Activité 1 : Comment trier les emballages plastiques chez vous ?	6	5. Exercices	11

1. Cours

1.1 Les matériaux et leurs propriétés

Qu'est-ce-qu'un matériau ?

.....

a) Les familles de matériaux

Quelles sont les trois grandes familles de matériaux ?

—

.....

.....

—

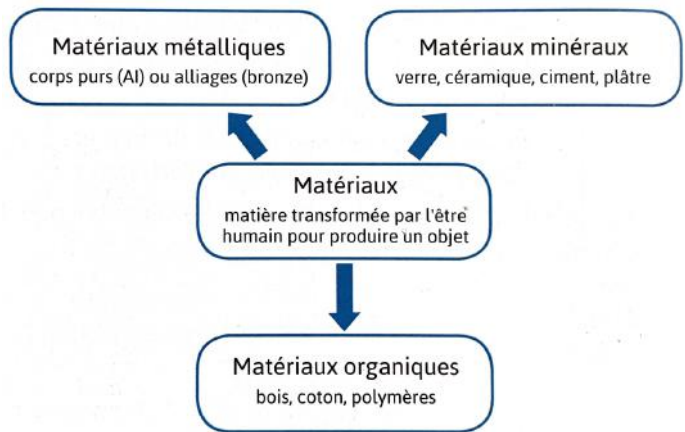
.....

.....

—

.....

.....



Quelles sont les nouvelles sous-familles de matériaux qui ont vue le jour ?

—

.....

—

.....

-
-
-
-

b) Les propriétés des matériaux

Quelles sont les différentes propriétés des matériaux qui sont intéressante d'étudier ?

-
-
-
-
-
-

1.2 Organisation de la matière : les molécules

Qu'est-ce qu'une molécule ?

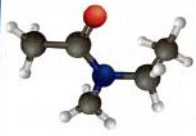
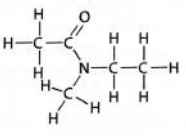
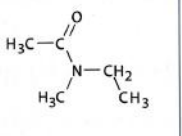
-
-

Qu'est-ce qu'une liaison covalente ?

-
-

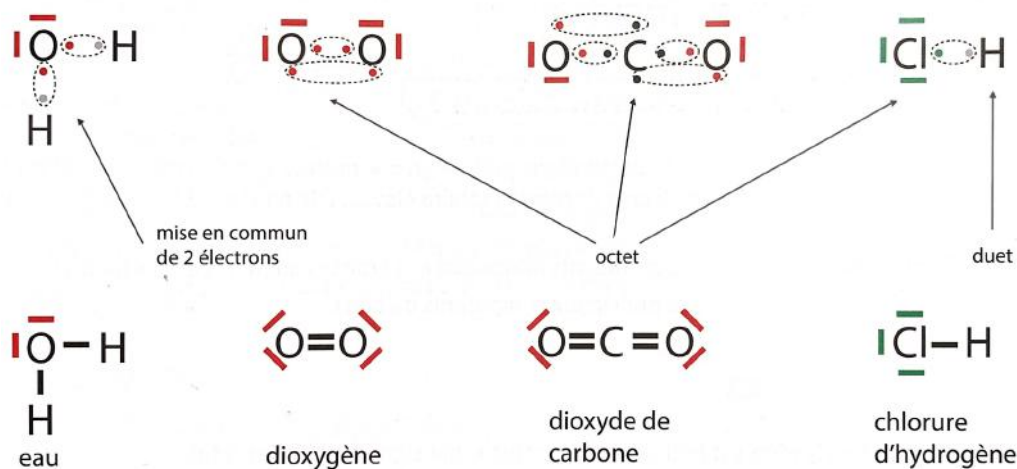
Comment représenter une molécule ?

-
-
-

Modèle moléculaire éclaté (3D)	Formule développée	Formule semi-développée	Formule brute
			C ₅ H ₁₁ ON

Quelle est la particularité du modèle de Lewis ?

.....

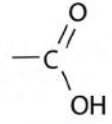
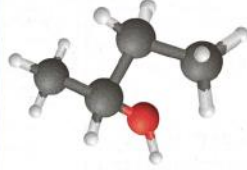
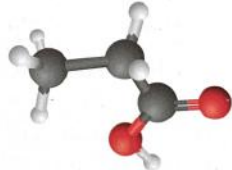


Qu'est-ce qu'un groupe caractéristique ?

.....

Définir le terme de famille.

.....

Famille	Alcool	Acide Carboxylique
Groupe caractéristique	Hydroxyle	Carboxyle
Formule	—OH	
Exemple	 Butan-2-ol	 Acide propanoïque

1.3 Les macromolécules

Définir la notion de macromolécule.

.....

.....

.....

Définir la notion de polymère.

.....

.....

.....

Définir la notion de monomère.

.....

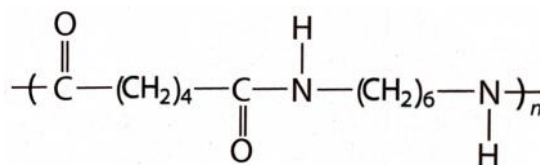
.....

Définir la notion de masse molaire moléculaire.

.....

.....

Exemple : La formule chimique du nylon 6-6 est :



Si le motif de base, de formule brute $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_2\text{N}_2$, se répète 1500 fois, **déterminer** la masse molaire de ce polymère. $M(\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$; $M(\text{H}) = 1 \text{ g/mol}$; $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$; $M(\text{N}) = 14 \text{ g/mol}$.

.....

.....

2. Activité 1 : Comment trier les emballages plastiques chez vous ?

Objectif :

- Choisir, à partir d'un cahier des charges, des matériaux en fonction de propriétés physiques attendues : électriques, thermiques, mécaniques, optiques et magnétiques.
- Rechercher, extraire et exploiter des informations relatives à la production industrielle, l'utilisation et le recyclage de quelques matériaux usuels.
- Adapter son attitude en fonction des pictogrammes des produits utilisés et aux consignes de sécurité correspondantes.

Le plastique a envahi nos vies. Vivre sans plastique semble quasiment impossible. Il faut reconnaître que les matières plastiques sont très faciles à utiliser. Malheureusement, elles sont beaucoup moins faciles à détruire. On en retrouve dans les océans, les forêts, et même dans l'air qui sort des incinérateurs à déchets.

Peut-on recycler pour diminuer cette pollution ?

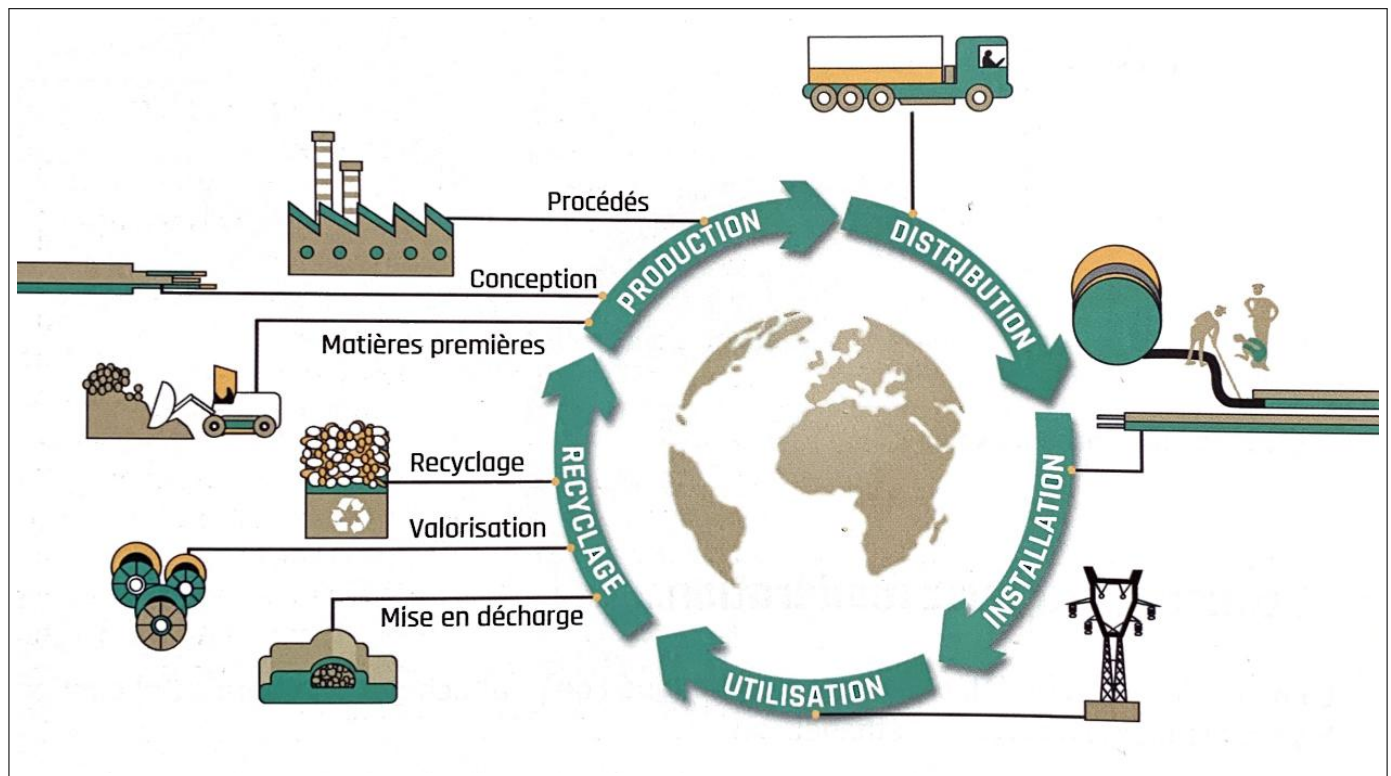


FIGURE 1 – Cycle de vie des matériaux.

1. Lors de l'étude du cycle de vie d'un matériau, quelles sont les cinq phases à prendre en compte ?
2. Quels plastiques peuvent être utilisés pour fabriquer des bouteilles ?
3. Quel est l'inconvénient du recyclage du PET ?
4. Quels objets peuvent être réalisés à partir d'anciennes bouteilles en plastique ?
5. En théorie, presque tous les plastiques sont recyclables. Cependant, en pratique, le recyclage n'est pas toujours possible. Quels sont les polymères que vous pouvez trier à la maison ? Pourquoi ?

Sur des emballages en plastique figure en logo en forme de triangle avec 3 flèches. Ce pictogramme indique que le produit est recyclable. Le chiffre indique la nature du plastique dont l'objet est constitué.








Nom du polymère	Symbole de recyclage	Quelques caractéristiques	Exemples d'utilisation	Exemples de recyclage
Polytéréphtalate d'éthylène (PET ou PETE)		<ul style="list-style-type: none"> Entièrement recyclable. Peut être réutilisé plusieurs fois car conserve ses caractéristiques physico-chimiques. Son recyclage exige une extrême pureté de la matière collectée. 	<ul style="list-style-type: none"> Bouteilles d'eau et de boissons gazeuses, bouteilles d'huile et de vinaigre. Sacs de cuisson, barquettes alimentaires, tasses. Flacons, bouteilles de shampoing. 	Bouteilles d'eau et de boissons gazeuses, vêtements, tapis.
Polyéthylène à haute densité (HDPE)		<ul style="list-style-type: none"> Opaque. Résistant aux chocs. Imperméable à l'eau, à certains produits chimiques, aux gaz et aux arômes. Utilisé dans les secteurs alimentaire, médical et chimique. 	<ul style="list-style-type: none"> Réservoirs. Équipements sportifs. Prothèses. Bouteilles de lait, bouteilles de shampoing, de produits cosmétiques. Poubelles. Tubes et tuyaux. Emballages semi-rigides. 	Flacons ménagers, bouteilles de détergent, caisses, sacs poubelles, poubelles.
Polychlorure de vinyle (PVC)		<ul style="list-style-type: none"> Constitué de plus de 50 % de matières premières d'origine minérale (sel). Utilisé dans les secteurs de la construction et de l'emballage. 	<ul style="list-style-type: none"> Tuyaux de canalisations. Revêtements de sol. Encadrements de fenêtre. Revêtements de piscine. Fils, feuilles, boîtes alimentaires. 	Tuyaux, classeurs, tapis, revêtements de sol, toiles cirées, meubles de jardin.
Polyéthylène à basse densité (LDPE)		<ul style="list-style-type: none"> Souple. Résistant aux chocs. Imperméable à l'eau. 	Sacs poubelles, sacs réutilisables de supermarché, sacs de congélation, bâches.	Non recyclable dans les poubelles de tri.
Polypropylène (PP)		Utilisé dans l'industrie automobile et dans l'industrie alimentaire.	<ul style="list-style-type: none"> Vaisselle en plastique, récipients alimentaires réutilisables, gourdes, emballages de beurre ou de margarine, pots de yaourts, pailles. Pare-chocs. Jouets. 	Non recyclable en dehors de l'industrie.
Polystyrène expansé (PS)		<ul style="list-style-type: none"> Dur. Cassant. Un des plastiques les plus répandus dans nos maisons. 	Barquette alimentaires, isolant thermique, boîtes de congélation, couverts et gobelets jetables, ustensiles de cuisine, stylos, étuis de CD.	Non recyclable dans les poubelles de tri.
Regroupe tous les autres plastiques ; notamment les plastiques à base de polycarbonates.			CD, nylon, lunettes de protection.	Équipements électroniques, accessoires automobiles.

FIGURE 2 – Savoir reconnaître les types de plastiques.

3. Activité 2 : Quels usages et quel recyclage pour les polymères ?

Objectif :

- Citer des métaux et alliages usuels et quelques exemples de matériaux organiques, minéraux et composites.
- Conduire des tests permettant de distinguer et d'identifier des matériaux à partir de banques de données (densités, aspects, combustions, corrosions, etc.).
- Déterminer ou mesurer quelques caractéristiques physiques de matériaux (résistivité électrique, résistance thermique surfacique, indice de réfraction, etc.).
- Rechercher, extraire et exploiter des informations relatives à la production industrielle, l'utilisation et le recyclage de quelques matériaux usuels.
- Reconnaître une molécule et une macromolécule organique. Passer des formules développées aux formules semi-développées et aux formules brutes.
- Adapter son attitude en fonction des pictogrammes des produits utilisés et aux consignes de sécurité correspondantes.

a) Densité

On dispose d'eau distillée et de deux solutions de chlorure de sodium de densité $d_1 = 1,10$ et $d_2 = 1,20$.

1. **Proposer** un protocole pour classer les polymères par densité croissante.
2. **Indiquer** sur l'échelle de densité ci-dessous les polymères testés.



b) Étude de la solubilité dans quelques solvants

3. On dispose de cyclohexane et de propanone. **Proposer** un protocole pour étudier la solubilité ou non des polymères étudiés dans ces solvants.

c) Test des plastiques chlorés

4. À l'aide d'une tige de cuivre et d'un bec bunsen, **déterminer** la présence de chlore dans les polymères étudiés. **Conclure**.

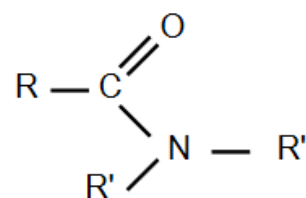
d) Synthèse d'un polyamide : le nylon 6-6

Qu'est ce qu'un polyamide ?

Un polyamide est une macromolécule (molécule de masse molaire élevée) dans laquelle un motif répété un grand nombre de fois comporte une fonction amide.

Il résulte d'une polycondensation entre un diacide carboxylique et une diamine.

R , R' et R'' sont des atomes ou groupes d'atomes de carbone et d'hydrogène. Le premier polyamide créé en 1938 a été dénommé nylon. Les polyamides sont utilisés dans un grand nombre de domaines : habillement, bagages, sport, automobile, électroménager...



Synthèse du nylon 6-6

La synthèse du nylon 6-6 s'effectue avec :

- l'acide hexanedioïque $HOOC-(CH_2)_4-COOH$
- le 1,6-diaminohexane $H_2N-(CH_2)_6-NH_2$

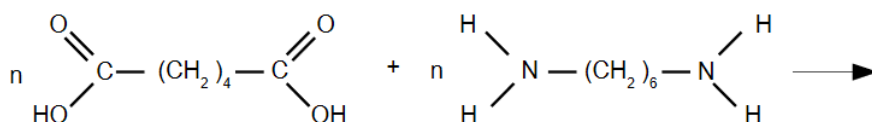
Pour la manipulation, on remplace l'acide hexanedioïque par le chlorure d'hexanedioyle qui rend la réaction plus rapide et totale.

Dans un bécher, on verse la solution de 1,6 – diaminohexane puis avec précaution, la solution de chlorure d'hexanedioyle. Les deux liquides sont non miscibles et on observe la formation d'un voile entre les deux solutions. À l'aide d'une pince ou d'un crochet, on tire sur ce voile et on le sort de la solution. Il se forme un fil qu'on enroule sur une baguette de verre.

5. Faire un schéma annoté de l'expérience.

Équation bilan

6. Compléter l'équation bilan de la réaction entre l'acide hexanedioïque et la 1,6-diaminohexane sachant qu'il se forme également $n + 1$ molécules d'eau.



7. Justifier le nom de nylon 6-6 donné au polyamide obtenu.

e) Dépolymérisation du plexiglas

Dans un tube à essai, **placer** un petit morceau de plexiglas (polyméthacrylate de méthyle ou PMMA).

Adapter un bouchon muni d'un tube à dégagement coudé et placer le au-dessus du réchaud électrique. L'extrémité du tube à dégagement sera introduite dans un tube à essai placé dans un verre à pied contenant de la glace.

Ajouter quelques mL d'eau de brome au liquide apparu dans le tube maintenu dans la glace. Observation.

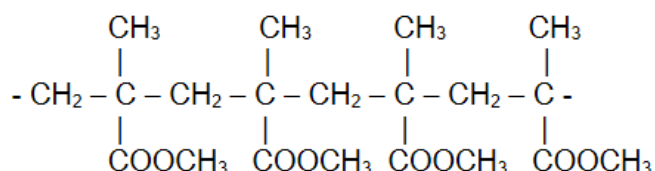
8. Quelle conclusion peut-on tirer de la réaction du liquide recueilli avec l'eau de brome ?

9. Quel motif se répète dans la chaîne du PMMA ?

10. Donner la formule semi-développée du monomère du PMMA.

11. Dans quel but réalise-t-on la dépolymérisation des matières plastiques ?

Morceau de la chaîne de la molécule de PMMA :



f) Conclusion

12. Compte-tenu des propriétés étudiées et de l'aspect des polymères étudiés, quels usages pourriez-vous leur attribuer ?

Polymère	Plexiglas	PVC	Polyéthylène	Polystyrène
Usages

4. Activité 3 : Agiter pour décolorer

Objectif :

- Calculer une masse molaire moléculaire à partir des masses molaires atomiques des éléments qui composent la molécule.
- Déterminer une concentration d'un soluté dans une solution à partir d'un protocole de préparation de celle-ci ou à partir de mesures expérimentales.
- Réaliser une solution de concentration donnée par dilution ou dissolution d'un soluté.
- Adapter son attitude en fonction des pictogrammes des produits utilisés et aux consignes de sécurités correspondantes.

À partir d'une solution de glucose à 100 g/L et de pastilles d'hydroxyde de sodium, on réalise deux solutions :

- 50,0 mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration molaire 1,0 mol/L
- 50,0 mL d'une solution aqueuse de glucose à 50 g/L

FIGURE 1 – Protocole expérimental


	Glucose	Hydroxyde de sodium
Formule brute	$C_6H_{12}O_6$	NaOH
Sécurité	Aucune	
Masse molaire moléculaire (g/mol) M	A déterminer	40
Solubilité dans l'eau (g/L)	700	1090

FIGURE 2 – Données sur les produits

1. **Calculer** la masse molaire moléculaire $M(C_6H_{12}O_6)$ du glucose. Données : $M(C) = 12,0$ g/mol ; $M(H) = 1,0$ g/mol ; $M(O) = 16$ g/mol.
2. **Calculer** la masse m nécessaire de pastilles d'hydroxyde de sodium pour préparer 50,0 mL de la solution à $c = 1,0$ mol/L. Données : $m = c \times V \times M$.
3. **Justifier** que la dissolution des espèces utilisées est totale dans le volume demandé.
4. **Préciser** la signification du pictogramme de sécurité puis **proposer** un protocole pour préparer la solution d'hydroxyde de sodium à 1,0 mol/L. **Préparer la solution après validation du professeur.**
5. **Proposer** un protocole pour préparer 50,0 mL de solution de glucose à 50 g/L à partir de celle à 100 g/L. Après validation, la **réaliser**.

Mélanger les deux solutions dans l'érlemeyer puis ajouter quelques gouttes de bleu de méthylène.

Boucher puis **agiter** et **laisser reposer**. Si la couleur bleue ne réapparaît plus, **déboucher** l'érlemeyer puis le **reboucher**.

La coloration bleue disparaît définitivement lorsque tout le glucose est consommé.

6. Quel est l'autre réactif nécessaire en dehors de ceux mélangés pour cette expérience ?

5. Exercices

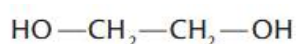
Exercice 1

L'éthylène glycol ($HO-CH_2-CH_2-OH$) est un des réactifs qui entre dans la fabrication du polyéthylène téréphtalate (PET), utilisé pour la fabrication des bouteilles d'eau minérale mais également pour des fibres textiles dites « polaires ».

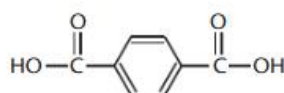
1. **Donner** sa formule brute.
2. Quel groupe caractéristique reconnaît-on dans cette molécule ?
3. **Donner** sa représentation de Lewis.
4. **Proposer** une autre formule développée tout en gardant les deux groupes caractéristiques.

Exercice 2

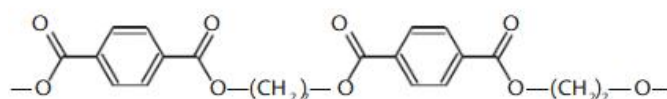
Le tergal est une fibre synthétique de la famille des polyesters, obtenue par condensation de l'acide téréphtalique et de l'éthylène glycol. C'est une étoffe d'aspect soyeux, résistance et infroissable.



▲ Éthylène glycol



▲ Acide téréphtalique



▲ Tergal

1. Parmi ces trois molécules, **identifier** la(es) molécule(s) organique(s) et la(es) macromolécule(s) organique(s). **Justifier** la réponse.
2. **Identifier** les groupes caractéristiques des réactifs utilisés dans la synthèse du tergal. **Préciser** à quelles familles appartiennent ces deux molécules.
3. L'acide téréphtalique est un diacide carboxylique. Pourquoi précise-t-on que c'est un diacide ?
4. **Donner** les formules développées puis les formules brutes des deux réactifs.
5. **Établir** le schéma de Lewis de l'acide téréphtalique.

En remplaçant l'acide téréphtalique par l'acide succinique de formule brute $C_4H_6O_4$, on obtient un nouveau polyester, le polybutylène succinate (PBS), utilisé notamment comme emballage alimentaire.

6. Sachant que l'acide succinique est un diacide, **donner** sa formule semi-développée.
7. En vous inspirant de la formule semi-développée du Tergal, **donner** la formule semi-développée du PBS en vous limitant à la représentation de trois motifs structuraux.

Exercice 3

Une solution isotonique de glucose permet la réhydratation d'un patient tout en lui apportant du glucose, source d'énergie pour les cellules. Cette solution est administrée par intraveineuse.

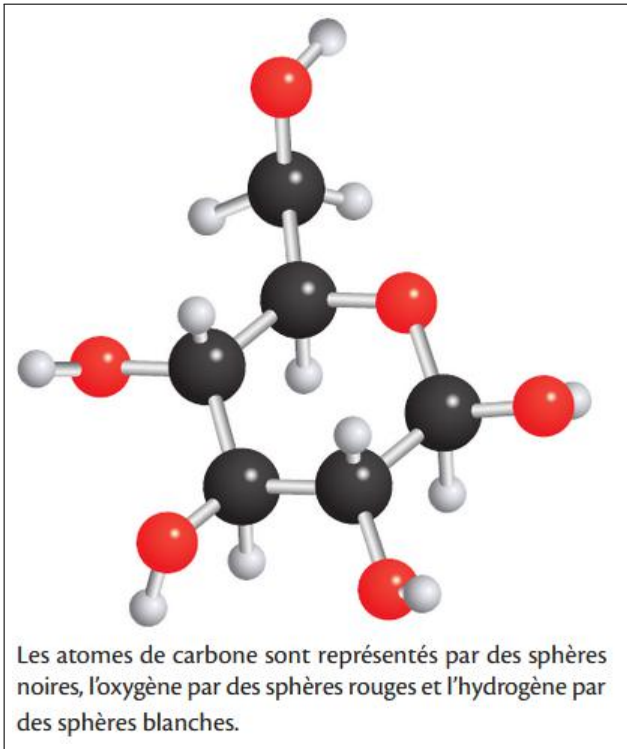


FIGURE 1 – Modèle moléculaire du glucose

Glucose 5%

Solution isotonique

Formule :
 Glucose anhydre 50 g
 Eau p.p.i q.s.p 1000 mL
 Glucose 278 mmol/L

FIGURE 2 – Étiquette d'une solution isotonique de glucose

La masse volumique ρ d'une solution est le rapport entre la masse m de la solution et son volume V : $\rho = \frac{m}{V}$
 où m s'exprime en kg ; V en m^3 et ρ en $kg \cdot m^{-3}$.
 La masse peut également s'exprimer en g, le volume en mL et donc la masse volumique en $g \cdot mL^{-1}$.
 Attention : il ne faut pas confondre la masse volumique d'une solution et la concentration massique en soluté.

FIGURE 3 – Masse volumique

On détermine la masse volumique de différentes solutions étalons de concentrations massiques en glucose connues.

C_m ($g \cdot L^{-1}$)	0	20	40	60	80	100
ρ ($g \cdot mL^{-1}$)	1	1,005	1,010	1,017	1,024	1,030

On détermine expérimentalement la masse volumique de la solution isotonique de glucose :
 $\rho = 1,015 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

FIGURE 4 – Solutions étalons

1. Quelle est la formule brute du glucose ?
2. **Donner** la formule semi-développée du glucose.
3. Quel groupe fonctionnel reconnaît-on dans la molécule de glucose ?
4. D'après l'étiquette, quelle est la concentration massique C_m en glucose de la solution ?
5. **Vérifier** que la concentration molaire C en glucose est bien celle indiquée par l'étiquette.
6. **Proposer** un protocole expérimental pour préparer par dilution $V_2 = 50,00 \text{ mL}$ d'une solution de concentration massique en glucose $C_{m,2} = 20 \text{ g} \cdot L^{-1}$ à partir d'une solution de concentration massique en glucose $C_{m,1} = 100 \text{ g} \cdot L^{-1}$.
7. Comment peut-on déterminer expérimentalement la masse volumique d'une solution ?
8. À partir des données de la figure 4, **déterminer** la concentration massique en glucose $C_{m,iso}$ de la solution isotonique. **Détailler** votre raisonnement.

Exercice 4



FIGURE 5 – Publicité pour une poêle

Matériau	Aluminium	Titane	Céramique ILAG®	Acier inoxydable	PTFE(1) (Téflon)
Composition	Corps pur (Al)	Corps pur (Ti)	SiO ₂	Fe, Ni, Cr	Corps pur -(CF ₂ -CF ₂)-
Masse volumique (g/cm ³)	2,7	4,51	2,65	8	2,16
Température de fusion (°C)	660	1668	1650	1400	327
Conductivité thermique (W/m/K)	237	21,9	1,2	15	0,25
Conductivité électrique (S/m)	3,7.10 ⁷	2,4.10 ⁶	0	5.10 ⁶	0
Propriétés chimiques	Attaqué par les acides et les bases	Attaqué par les acides	Résistante aux acides et bases	Résistant aux acides et bases	Résistant aux acides et bases
Propriétés mécaniques	Facilement déformable Peu résistant aux rayures et à l'abrasion	Résistant aux chocs Peu sensible à l'abrasion	Peu déformable et cassant Très peu sensible aux rayures et à l'abrasion	Résistant aux chocs Moyennement sensible à l'abrasion	Facilement déformable. Très sensible aux rayures et à l'abrasion
Toxicité	Controverses sur la migration de particules d'aluminium dans les aliments lors de la cuisson	Aucune	Aucune à ce jour	Aucune (Le nickel est un allergène pour certaines personnes)	Peut contenir du PFOA (2) qui agirait comme perturbateur endocrinien

FIGURE 6 – Propriété de quelques matériaux.

Le nitrure de titane (formule TiN) est une céramique très dure et résistante à la corrosion couramment utilisée comme revêtement sur des métaux tels que l'acier ou l'aluminium pour en améliorer les propriétés de surface. Le nitrure de titane, porté à l'état de plasma (gaz ionisé : mélange d'ions et d'électrons à haute température), se dépose en couche mince solide de quelques dizaines de micro-mètres sur le matériau à recouvrir.

FIGURE 7 – Le nitrure de titane

À l'aide des documents ci-dessous, **répondre** aux questions suivantes.

1. **Justifier** que la poêle à frire présentée est constituée d'un matériau composite. Quel en est l'intérêt ?
2. **Justifier** que cette poêle peut être utilisée sur une plaque à induction.
3. Pourquoi l'aluminium n'est-il pas utilisé à la surface de la poêle ?
4. Pour quelle(s) raison(s) a-t-on utilisé de l'aluminium «extra-dur» au fond de la poêle à la place d'acier inoxydable ?
5. Quel est l'avantage de la céramique ILAG pour le revêtement intérieur de la poêle par rapport au Téflon ?
6. L'expression «plasma de titane» vous paraît-elle correcte sur le plan scientifique pour nommer un matériau solide ? **Justifier** votre réponse.

Exercice 5

La protection contre les radiations cosmiques est l'une des préoccupations majeures pour les vols habités dans l'espace. Ces rayonnements (protons, noyau d'hélium, électrons, positons, neutrons, rayons X et gamma) sont source de danger pour les occupants des vaisseaux spatiaux et autres stations orbitales dont les parois n'offrent à l'heure actuelle qu'une protection minimale. Une solution innovante pourrait venir des champignons ! Ces végétaux ont la particularité de se développer et de survivre dans des environnements contaminés par la radioactivité, comme aux abords de l'ancienne centrale de Tchernobyl.

Des chercheurs des universités Johns-Hopkins et Stanford ont prouvé, à partir d'expériences réalisées à bord de la station spatiale internationale (ISS), que le champignon *Cryptococcus sphaerospermum* était capable de bloquer

et d'absorber 2% des rayonnements cosmiques. Ce n'est pas suffisant pour protéger un équipage mais l'échantillon n'avait que 2 millimètres d'épaisseur. Selon les chercheurs, une couche de 21 cm d'épaisseur suffirait pour protéger des futurs colons sur Mars.

Le principal intérêt de ce bouclier fongique réside dans le fait qu'il est capable de se régénérer en quelques jours après avoir subi une irradiation soudaine comme lors d'une éruption solaire.

D'après le site trustmyscience.com

Matériau	Plomb	Béton	Aluminium	Eau
Masse volumique (g/cm ³)	11,4	2,2	2,7	1
Absorption à 100%	10 cm	50 cm	30 cm	3 m

FIGURE 8 – Absorption des rayons gamma par différents matériaux

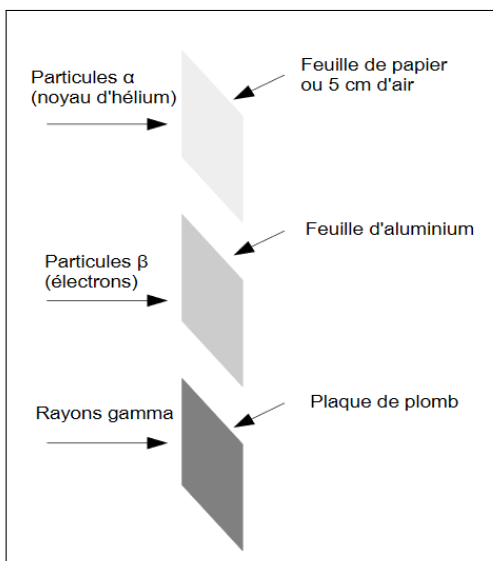


FIGURE 9 – Matériaux arrêtant les principaux rayonnements



FIGURE 10 – Module lunaire des missions Apollo. Par endroits, l'épaisseur de la coque du module ne dépassait pas 2mm.

1. Quel est le type de rayonnement cosmique le plus dangereux pour l'équipage d'un véhicule spatial ? **Justifier.**
2. Pourquoi n'utilise-t-on pas du plomb pour isoler un vaisseau spatial du rayonnement cosmique ?
3. En supposant qu'il y a proportionnalité entre l'absorption du rayonnement et l'épaisseur du matériau traversé, quelle est l'épaisseur e de la couche de champignons traversée pour une absorption de 100% ?
4. Quels inconvénients d'ordre technique y aurait-il à utiliser une couche de ces champignons dans les parois d'un véhicule spatial plutôt que dans une base martienne ?