

<p style="text-align: center;"><b>BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR</b> <b>PLASTURGIE</b></p>
--

## SCIENCES DES MATÉRIAUX

Durée 3 heures

coefficient 3,5

*La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.*

**Il est conseillé, pour chaque exercice, de lire attentivement l'ensemble du sujet avant de commencer sa résolution.**

**Matériel autorisé :**

**Calculatrice conformément à la circulaire n°99-186 du 16/11/1999**

*Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes.*

*Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.*

*Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.*

**Tout autre matériel est interdit**

*Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Ce sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9.*

**Document à rendre avec la copie :**

**Annexe 1.....page 8/9**

**Annexe 2.....page 9/9**

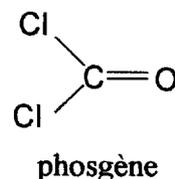
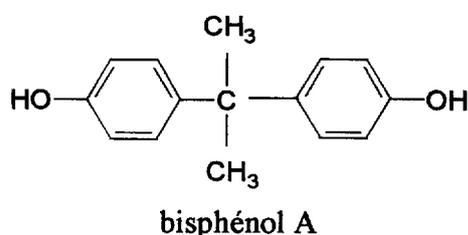
## PARTIE CHIMIE (40 points)

### LES MATIÈRES CONSTITUANT UN CASQUE DE MOTOCYCLE

Le casque est un élément de sécurité indispensable lorsqu'on se déplace en motocycle. Il est constitué de divers matériaux qu'on se propose d'étudier ici.

#### I. La coque et l'écran (12,5 points)

1. La coque du casque, qui est représenté en annexe 1, est réalisée par injection de polycarbonate PC. Ce matériau est constitué d'un polymère obtenu par réaction entre le phosgène de formule brute  $\text{COCl}_2$  et le bisphénol A. Les formules semi développées de ces composés sont rappelées ci dessous :



- 1.a. Écrire la formule semi-développée du motif du polymère PC.
- 1.b. La réaction envisagée est une polymérisation par condensation. Définir ce type de polymérisation.

2. Le phosgène est un composé très toxique par inhalation.

- 2.a. Que signifie l'expression « toxique par inhalation » ?
- 2.b. La température d'ébullition du phosgène est de  $8^\circ\text{C}$ . Sous quelle forme trouve-t-on cette espèce à température ambiante ?
- 2.c. La production industrielle du polycarbonate est extrêmement contrôlée. Par exemple, le procédé de fabrication est continu afin de réduire le plus possible les manipulations de phosgène et toute fuite est immédiatement détectée. Le tableau suivant donne les valeurs limites d'exposition pour le phosgène, le dioxyde de carbone et le monoxyde de carbone :

Formule du composé	$\text{COCl}_2$	$\text{CO}_2$	CO
Valeur limite d'exposition en $\text{mg.m}^{-3}$	0,4	9100	55

- Parmi ces trois composés, lequel est le moins toxique et pourquoi ?
- 2.d. Lors de la pyrolyse du polychlorure de vinyle (PVC) il peut se former du phosgène. Définir le terme pyrolyse.

3. Avec d'excellentes propriétés optiques et mécaniques, le polycarbonate PC est le constituant privilégié des visières ou des écrans de protection. C'est un polymère thermoplastique amorphe.

Expliquer ces deux termes : « thermoplastique » et « amorphe ».

4. On soumet un échantillon de PC à une précipitation fractionnée. Cette technique consiste à séparer le polymère en différentes fractions de masses molaires différentes en utilisant leur différence de solubilité dans un mélange de solvants. Les fractions isomoléculaires obtenues sont au nombre de cinq. La masse molaire  $M_0$  du motif du polymère vaut  $254 \text{ g.mol}^{-1}$ .

On donne la masse molaire de chaque fraction dans le tableau ci-dessous :

N° de la fraction	Fraction en masse	Masse molaire en $\text{g.mol}^{-1}$
1	0,11	53 000
2	0,22	29 000
3	0,31	18 000
4	0,24	7 500
5	0,12	3 000

4.a. Calculer la masse molaire moléculaire moyenne en poids  $\overline{M}_p$  de ce polymère.

4.b. En déduire le degré de polymérisation moyen en poids.

4.c. La masse molaire moléculaire moyenne en nombre du polymère est :

$$\overline{M}_n = 10\,130 \text{ g.mol}^{-1}.$$

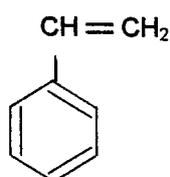
Déterminer la valeur de l'indice de polydispersité de ce polycarbonate.

Que peut-on dire des longueurs des macromolécules constituant le polymère ?

## II. Le calotin et l'aérateur, la jugulaire et le rembourrage (23,5 points)

En dessous de la coque se trouve le calotin (voir l'annexe 1). Il est constitué d'un matériau léger qui amortit bien les chocs : le polystyrène expansé PSE.

1. Le monomère styrène



Le styrène, dont la formule se trouve ci-dessus, est un hydrocarbure aromatique obtenu industriellement en deux étapes par réaction entre le benzène et l'éthène.

Écrire les équations des deux réactions et nommer le produit intermédiaire formé.

2. Le polymère polystyrène

La réaction de polymérisation du styrène conduit au polystyrène PS.

Écrire l'équation de réaction de la polymérisation.

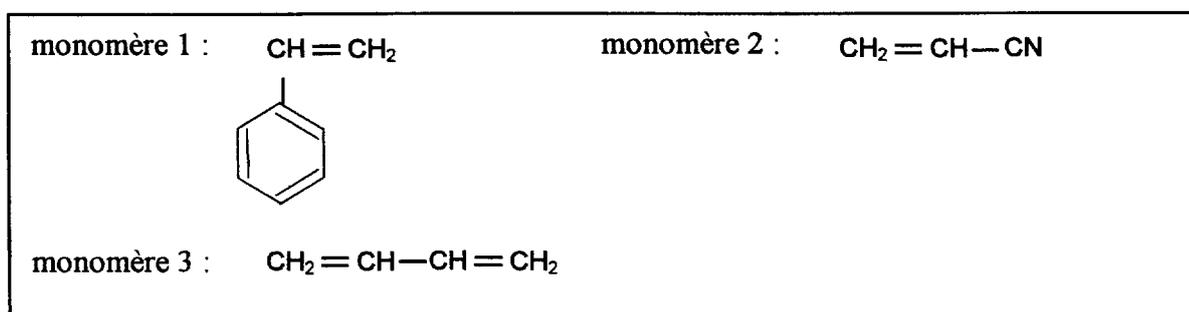
À quel type de polymérisation a-t-on affaire : polymérisation par condensation ou polymérisation par addition ?

### 3. Le polystyrène expansé PSE

- 3.a. On compare deux échantillons A et B de polystyrène, de masse de 10 g chacun.  
L'échantillon A occupe un volume de  $9,5 \text{ cm}^3$  et l'échantillon B un volume de  $250 \text{ cm}^3$ .  
Quel échantillon est du polystyrène expansé ? Justifier.
- 3.b. On peut fabriquer le PSE en ajoutant un agent porogène lors de la mise en œuvre du PS.  
Donner la fonction d'un agent porogène. En citer un exemple.

### 4. Le copolymère Acrylonitrile Butadiène Styène ABS

Ce matériau, qui constitue l'aérateur du casque, est un polymère thermoplastique. Il a de bonnes propriétés mécaniques sur une large plage de température et se décore très bien. Il résulte de la polymérisation par addition de trois monomères, dont les formules semi-développées suivent :



- 4.a. Nommer les monomères 2 et 3.  
4.b. Écrire le motif des homopolymères correspondants.  
4.c. Citer trois types possibles de copolymère.

La jugulaire (voir l'annexe 1) permet au casque de bien rester en place même sous un choc violent, elle est en polyamide PA. Les polyamides peuvent être extrudés en fils puis tissés pour donner un matériau à la fois résistant et souple.

### 5. Le PA 6,6

Le Nylon<sup>®</sup> ou PA 6,6 est une fibre textile obtenue en polymérisant par condensation l'hexan-1,6-diamine et l'acide hexan-1,6-dioïque.

- 5.a. Écrire la formule semi-développée de chaque monomère.  
5.b. Donner le motif du PA 6,6.

### 6. Dosage acido-basique des fonctions amines

On admet que chaque macromolécule de polyamide possède une seule fonction amine  $-\text{NH}_2$  disposée sur une des extrémités. Un dosage des fonctions amines permet alors de déterminer la masse molaire moléculaire moyenne en nombre du polyamide testé.

On dissout 2,5 g de PA 6,6 dans 100 mL d'un solvant adapté. On obtient une solution  $S_0$ . On dose 25 mL de solution  $S_0$  par de l'acide chlorhydrique de concentration  $C = 2,9 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  en présence d'un indicateur coloré. Le virage de l'indicateur coloré se produit pour un volume ajouté  $V = 12 \text{ mL}$ .

- 6.a. Compléter le schéma de l'annexe 2, à rendre avec la copie.

- 6.b. Écrire l'équation de réaction entre une fonction amine du polymère et l'acide chlorhydrique.
- 6.c. Calculer la quantité de matière (en mol) de fonction amine dans le prélèvement de volume 25 mL. En déduire la quantité de matière de fonction amine dans le volume de 100 mL.
- 6.d. Déterminer la masse molaire moyenne en nombre du PA 6,6 dosé.

Afin de protéger la tête du pilote, on place de la mousse polyuréthane à l'intérieur du casque. Cette mousse se comporte bien en compression et amortit les chocs. Les polyuréthanes résultent de la réaction entre des composés isocyanates et des composés polyols et se prêtent bien à la fabrication de produits expansés.

7. Un composé isocyanate de formule  $R-N=C=O$  réagit avec un alcool de formule  $R'-OH$  pour donner un composé uréthane. Écrire l'équation de réaction.
8. Si on emploie un polyol et un triisocyanate, la réaction se produit dans les trois directions de l'espace. Ceci peut générer dans certaines conditions une réticulation des chaînes macromoléculaires.  
Expliciter cette opération au moyen d'une phrase et d'un schéma simplifié.
9. On obtient alors un matériau classé thermodurcissable. Après avoir rappelé les conséquences macroscopiques de la réticulation, indiquer en justifiant comment le matériau se comporte face à une élévation de température.

### III. Bilan (4 points)

Le casque de motocycle est ainsi constitué de matériaux plastiques divers, chacun possédant des propriétés spécifiques afin d'assurer le confort et la sécurité du pilote.

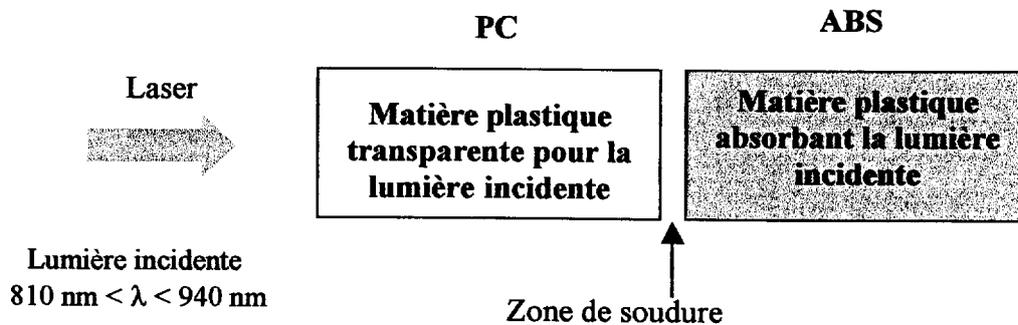
1. Compléter le tableau de l'annexe 1, à rendre avec la copie, d'après les informations données dans les chapitres précédents.
2. Certains des matériaux de ce tableau sont recyclables. En citer deux et justifier votre réponse en tenant compte d'une de leurs caractéristiques.

## PARTIE PHYSIQUE (20 points)

### I. Soudage par laser (14 points)

Souder deux matières plastiques entre elles peut être un exercice assez difficile lorsque la zone de soudure n'est pas plane ou bien n'est pas accessible. La technique de soudage par laser est alors un moyen pour réussir, à condition que l'une des deux matières plastiques soit transparente au rayonnement laser incident et que l'autre absorbe ce rayonnement pour le transformer en énergie thermique. On s'intéresse ici à l'assemblage d'une pièce en polycarbonate PC et d'une pièce en acrylonitrile butadiène styrène ABS, qui sont des polymères thermoplastiques.

Schéma n°1 :



#### 1. Étude énergétique.

Données :

- Constante de Planck  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s.
- Vitesse de la lumière  $c = 3,00 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

- 1.a. Le laser émet un rayonnement de longueur d'onde comprise entre 810 nm et 940 nm. À quel domaine électromagnétique appartient ce rayonnement ?
- 1.b. Le polycarbonate PC est transparent à la lumière laser incidente. Cela signifie-t-il que le pourcentage de transmission du rayonnement à travers le PC est de :
  - 25 % ?
  - 75 % ?
  - 100 % ?
  - 0 % ?
- 1.c. Calculer l'énergie d'un photon de longueur d'onde  $\lambda = 850$  nm.
- 1.d. À cette longueur d'onde, le laser a une densité de puissance de  $1,0 \times 10^3$  W.cm<sup>-2</sup>. En supposant que l'ABS absorbe toute l'énergie reçue, calculer la puissance reçue par la pièce en ABS pour une surface à souder de 0,50 cm<sup>2</sup>.
- 1.e. En déduire le nombre de photons reçus chaque seconde par la pièce à cette longueur d'onde.

## 2. La soudure

On se propose de calculer la valeur d'énergie nécessaire pour faire passer l'ABS situé dans la zone de soudure de la température  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$  à la température  $\theta_2 = 150^\circ\text{C}$ . La température de transition vitreuse de l'ABS est  $\theta_v = 110^\circ\text{C}$ .

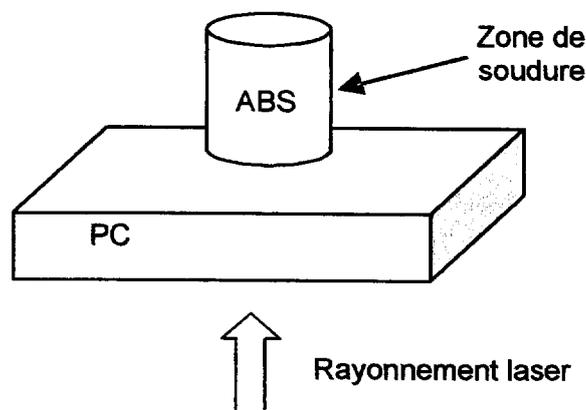
La zone de soudure sera ici modélisée par un cylindre d'ABS de hauteur 2,0 mm et de base un disque dont la surface vaut  $0,50\text{ cm}^2$ , comme le montre le schéma n°2 ci-dessous.

### Données :

- Masse volumique de l'ABS :  $\rho = 1,04\text{ g.cm}^{-3}$
- Capacité thermique massique de l'ABS :  $c_p = 1,8\text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$

- 2.a. Calculer le volume du cylindre d'ABS considéré. En déduire sa masse  $m$ .
- 2.b. Déterminer l'énergie thermique nécessaire pour porter toute la matière du cylindre de  $20^\circ\text{C}$  à  $150^\circ\text{C}$ .
- 2.c. Au niveau de la pièce en ABS, seule une partie de la puissance radiative se transforme en puissance thermique de valeur 50 W.  
Calculer le temps nécessaire pour ramollir la zone de soudure.
- 2.d. Le PC en contact avec la pièce d'ABS se ramollit aussi.  
Justifier ce deuxième ramollissement par un phénomène physique.

Schéma n°2



## II. Système triphasé (6 points)

Un atelier de plasturgie contient un ensemble de dix presses identiques branchées chacune sur un réseau triphasé 230 V / 400 V ; 50 Hz.

Une des presses présente un problème électrique. L'électricien chargé de la réparation doit, avant toute intervention, déterminer la nature de chaque fil d'alimentation. Pour cela, il mesure au voltmètre la tension électrique entre les différentes bornes accessibles :

- entre A et C : 230 V
- entre A et D : 400 V
- entre B et C : 230 V

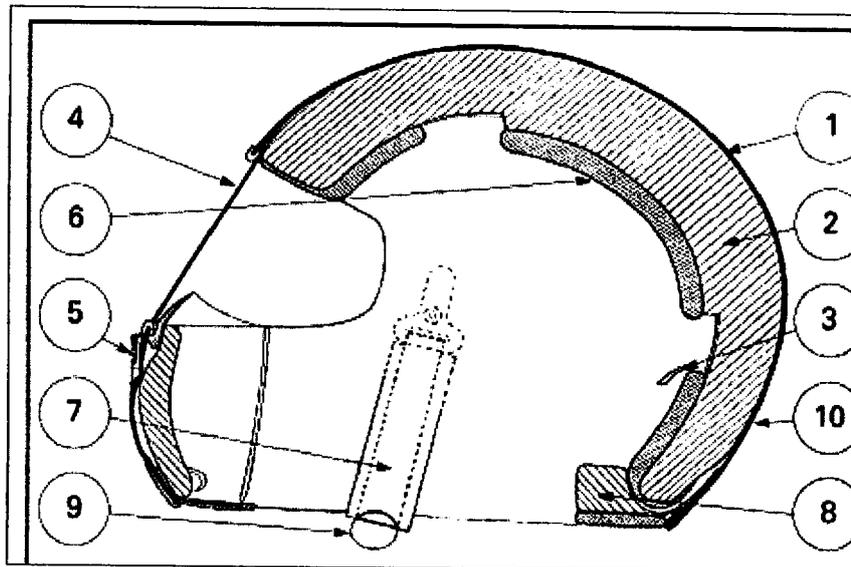
●	_____	Fil A
●	_____	Fil B
●	_____	Fil C
●	_____	Fil D

- Déterminer quel fil est le fil neutre.
- Comment nomme-t-on la tension entre les bornes A et C et la tension entre les bornes B et C ?
- La presse défectueuse est branchée en étoile avec neutre. Faire le schéma du branchement pour trois récepteurs que l'on schématisera chacun par :



- La puissance totale absorbée, lorsque toutes les presses fonctionnent, vaut 250 kW. Sachant que l'intensité en ligne vaut 42 A pour une presse, calculer le facteur de puissance d'une presse.

**ANNEXE 1**  
**(à compléter et à rendre avec la copie)**

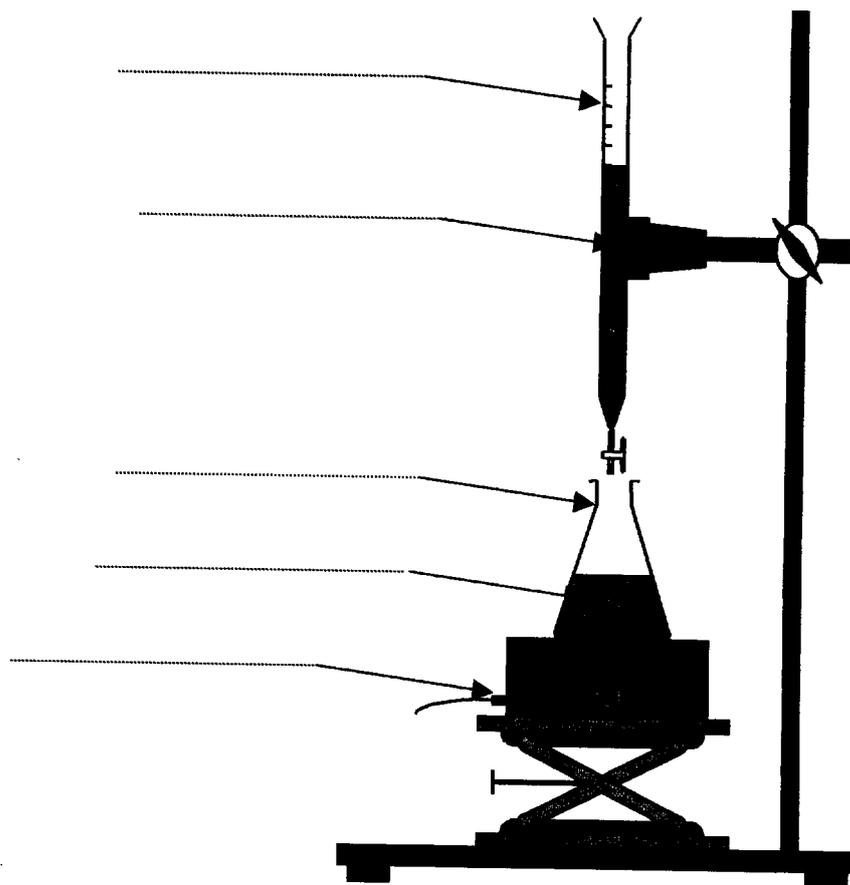


**Schéma n°1 : structure d'un casque de motocycle**

<b>PARTIE</b>	<b>NOM</b>	<b>MATIERE</b>
1	Coque	
2	Calotin	
3	Estampille	Tissu
4	Ecran	
5	Aérateur maxillaire	
6	Rembourrage	
7	Jugulaire	Polyamide
8	Protège nuque	Mousse polyuréthane (PUR)
9	Boucle de fermeture	Acier Z8C17
10	Peinture extérieure	polyuréthane

**Tableau : identification des repères donnés dans le schéma n°1**

**ANNEXE 2**  
**à compléter et à rendre avec la copie**



**Schéma n°2 : montage pour un dosage acide base**