



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Campagne 2012**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR INDUSTRIES PLASTIQUES - EUROPLASTIC

## SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2012

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.*

***La page 9 est à rendre avec la copie.***

BTS INDUSTRIES PLASTIQUES-EUROPLASTIC	<b>SUJET</b>	SESSION 2012
Epreuve : SCIENCES PHYSIQUES	Code : ILE3SP	Page : 1/9

# LES FIBRES TEXTILES

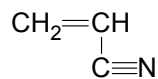
Les textiles sont des assemblages de fils constitués de fibres. La cohésion des fibres entre elles est assurée par un étirage auquel s'ajoute souvent une torsion. On distingue les fibres naturelles (coton, lin, raphia, coco, soie, laine...) et les fibres synthétiques qui résultent de la polymérisation de monomères (polyamides, polyesters, polyacryliques, ...).

Le sujet aborde la production de fibres synthétiques et leur assemblage sous forme de fils.

## PARTIE CHIMIE (40 POINTS)

### EXERCICE 1 : LES FIBRES POLYACRYLIQUES (11 POINTS)

Les fibres polyacryliques sont obtenues par polymérisation du monomère acrylonitrile de formule semi-développée :



1. Donner le symbole et le nom des trois éléments chimiques composant le monomère.
  2. Reproduire la molécule et entourer la fonction nitrile.
  3. La polymérisation par addition de l'acrylonitrile donne le polyacrylonitrile (PAN).
    - 3.1. Définir le terme « polymérisation par addition ».
    - 3.2. Écrire l'équation de polymérisation de n moles d'acrylonitrile.
  4. Industriellement, le monomère acrylonitrile est mélangé à 6,0 % en masse avec un autre monomère, le propénoate de méthyle.
    - 4.1. Donner la formule semi-développée du propénoate de méthyle dont la formule brute est  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ .
    - 4.2. La masse molaire du propénoate de méthyle est de  $86 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Déterminer la quantité de matière en moles de ce monomère nécessaire pour produire 1 000 kg du copolymère acrylonitrile-propénoate de méthyle.
- Par la suite, le copolymère ainsi obtenu est mis en solution dans un solvant pour être extrudé à travers une filière puis étiré. Lors de cette étape, les macromolécules du polymère s'orientent (figure 1 ci-dessous):
5. Quel effet produit l'orientation des macromolécules sur la cristallinité du polymère ? Justifier la réponse.

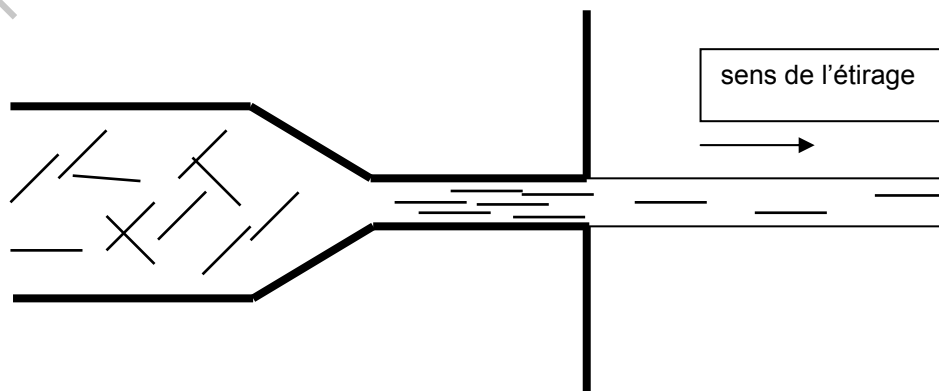
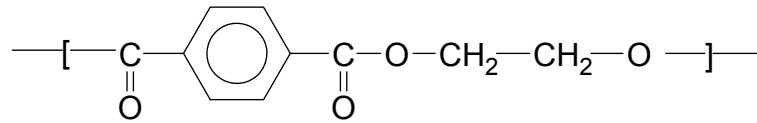


figure 1

6. On considère deux fibres polyacryliques, la première ayant un taux de cristallinité de 65 %, la seconde un taux de 35 %. Laquelle sera la plus résistante à la traction ? Justifier la réponse.

## EXERCICE 2 : LES FIBRES POLYESTERS (16 POINTS)

1. Les fibres polyesters sont produites en polymérisant un dialcool avec un diacide. Le polymère le plus courant obtenu est le PET (polyéthylène téréphtalate) dont le motif est représenté ci-dessous :



1.1 Calculer la masse molaire  $M_0$  de ce motif.

On donne :  $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$   $M(\text{C}) = 12 \text{ g.mol}^{-1}$   $M(\text{O}) = 16 \text{ g.mol}^{-1}$

1.2 Nommer le diacide et le dialcool nécessaires pour obtenir du PET et représenter leur formule semi-développée.

1.3 La synthèse du PET est une polymérisation par condensation. Que signifie cette expression ?

La solidité et la souplesse des fibres dépendent du degré de polymérisation de la matière avant étirage. Au laboratoire d'une entreprise de filature, on effectue des contrôles qualité sur la matière première.

2. Pour déterminer la distribution des macromolécules dans le PET livré, on peut faire une chromatographie utilisant la différence de taille des macromolécules. On parle de chromatographie sur gel perméable (GPC d'après l'anglais Gel Permeation Chromatography) ou encore Gel Filtration Chromatography (abrégé GFC).

Cette technique consiste à faire passer le polymère en solution dans une colonne remplie de billes poreuses et à récupérer les fractions en fonction du temps de séjour dans la colonne (temps d'élution). Selon leur taille, les macromolécules éluées rentrent ou non dans les billes poreuses et ressortent après un temps plus ou moins long (voir figure 2 ci-dessous).

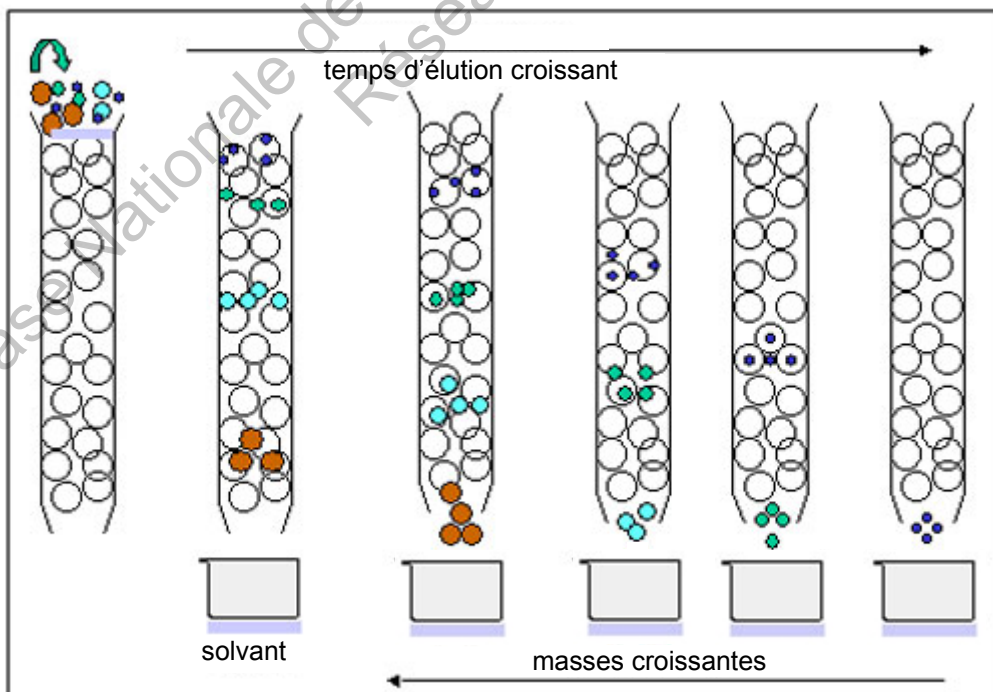


figure 2 : principe de la chromatographie sur gel perméable

2.1 A l'aide de la figure 2, préciser si les macromolécules que l'on récupèrera en premier sont les plus grosses ou les plus petites ?

A la sortie de la colonne on peut récupérer les fractions éluées et ainsi compter les macromolécules de chaque fraction, puis mesurer leur masse. Cette technique a l'avantage d'être non destructive car elle ne modifie pas les molécules analysées.

2.2 Citer une autre technique d'analyse non destructive utilisée en laboratoire qui permet de mesurer une masse molaire moyenne des macromolécules.

3. L'analyse par GPC d'un PET donne les résultats suivants :

N° des fractions	7	6	5	4	3	2	1
$M_i$ (g.mol <sup>-1</sup> )	$2,0 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$	$3,0 \times 10^4$	$3,5 \times 10^4$	$4,0 \times 10^4$	$4,5 \times 10^4$	$5,0 \times 10^4$
$X_i = N_i / N$	0,023	0,115	0,184	0,242	0,218	0,149	0,069

avec  $M_i$  la masse molaire de la fraction  $i$  et  $X_i = N_i / N$  fraction molaire de la fraction  $i$ .

3.1 Représenter **sur le document réponse page 9 à rendre avec la copie**, la distribution des macromolécules dans le polymère testé :  $X_i = f(M_i)$ .

3.2 Donner l'expression littérale de la masse molaire moyenne en nombre de la distribution  $\overline{M}_n$ , et montrer que pour l'analyse effectuée  $\overline{M}_n = 36\,200$  g.mol<sup>-1</sup>.

3.3 Donner l'expression littérale du degré de polymérisation moyen en nombre  $\overline{DP}_n$  de ce PET en fonction de  $\overline{M}_n$  et de  $M_0$ .

3.4 Calculer le degré de polymérisation moyen en nombre  $\overline{DP}_n$ .

Pour être mis en production, le PET doit répondre aux tolérances suivantes :

$\overline{M}_n$  compris entre 32 000 et 38 000 g.mol<sup>-1</sup>  
 Indice de polydispersité ( $I$ ) inférieur à 1,25

Les résultats de l'analyse précédente donnent une masse molaire moyenne en masse  $\overline{M}_p = 37\,700$  g.mol<sup>-1</sup>.

3.5 Le PET analysé peut-il être mis en production ? Justifier la réponse.

### EXERCICE 3 : LES FIBRES POLYAMIDES (RILSAN®, KEVLAR®) (13 POINTS)

1. Le rilsan est le nom commercial du PA11. Il provient de la polymérisation par condensation du monomère acide amino-11-undécanoïque de formule :  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{NH}_2$ .

1.1 Ce monomère, obtenu à partir de l'huile de ricin, a deux fonctions chimiques caractéristiques. Nommer et représenter ces deux fonctions.

1.2 Écrire l'équation de la réaction de polymérisation du PA11.

Les propriétés des fibres dépendent de la nature et du nombre de groupements terminaux du polymère qui les constitue.

1.3 Quels groupements va-t-on trouver aux extrémités d'une macromolécule de PA11 ?

1.4 Qu'est-ce qu'une « liaison hydrogène » ?

Plus les chaînes macromoléculaires sont longues, et plus les liaisons hydrogène sont nombreuses. On dispose de deux échantillons de PA11 ayant les caractéristiques suivantes :

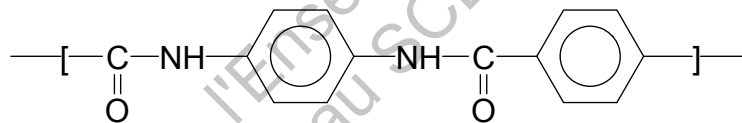
PA 11 échantillon a :  $\overline{\text{DP}}_n = 90$

PA11 échantillon b :  $\overline{\text{DP}}_n = 120$

avec  $\overline{\text{DP}}_n$  degré moyen de polymérisation en nombre.

1.5. Attribuer à chaque échantillon sa température de fusion, 175 ou 185 °C.

2. Le kevlar est un aramide, c'est-à-dire qu'il fait partie de la famille des polyamides aromatiques, ayant le motif suivant :



2.1 Reproduire le motif et entourer les fonctions amide présentes.


La fibre kevlar a des caractéristiques remarquables qui font qu'elle est utilisée dans des applications très particulières comme le gilet pare-balle.

2.2 Parmi toutes les caractéristiques citées dans le tableau ci-dessous, donner celles qui ont un intérêt pour les utilisateurs de gilets pare-balle.

Faible densité ( $d = 1,45$ )	Résistance au feu et à la chaleur	Grande sensibilité aux U.V.
Grande difficulté à couper	Prix élevé	Résistance à la traction trois fois plus importante que l'acier
Reprise d'humidité importante	Résistance aux solvants organiques (carburants)	Absorption des vibrations, amortissement

Le procédé de filage du kevlar se fait par voie humide et demande de grandes quantités d'acide sulfurique concentré.

Voici un extrait de ce que l'on peut lire sur la fiche toxicologique de l'acide sulfurique (FT n°30 INRS)



**ACIDE SULFURIQUE**  
**... (≥ 15 %)**

**DANGER**

H 314 – Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.

Nota : Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.

231-639-5

*Selon le règlement CE n° 1272/2008.*

figure 3

**Toxicité aiguë**

*L'acide sulfurique est toxique pour l'animal, surtout par inhalation de l'aérosol ; les particules de taille moyenne (MMAD env. 1 µm) sont les plus toxiques. Il est fortement irritant ou corrosif pour le tractus respiratoire et le tractus gastro-intestinal selon la voie d'exposition ; pur, il est corrosif pour la peau et l'œil.*

Voie	Espèce	DL50/CL50 (durée)
Orale	Rat	2 140 mg/kg
Inhalatoire	Cobaye	30 mg/m <sup>3</sup> (8 h) (MMAD 0,8 µm)
		> 109 mg/m <sup>3</sup> (8 h) (MMAD 0,4 µm)
		50 mg/m <sup>3</sup> (8 h) (animal âgé)
	Rat	18 mg/m <sup>3</sup> (8 h) (animal jeune)
		510 mg/m <sup>3</sup> (2 h)
	Souris	375 mg/m <sup>3</sup> (4 h)
425 mg/m <sup>3</sup> (8 h)		
320 mg/m <sup>3</sup> (2 h)		
850 mg/m <sup>3</sup> (4 h)		
Lapin	600 mg/m <sup>3</sup> (8 h)	
	1 470 mg/m <sup>3</sup> (3,5 h)	
		1 610 mg/m <sup>3</sup> (7 h)

Tableau I. Toxicité aiguë de l'acide sulfurique [1]

figure 4

2.3 Que signifie le pictogramme représenté sur la figure 3 ci-dessus ?

2.4 Quels sont les équipements de protection nécessaires pour manipuler l'acide sulfurique concentré ?

2.5 Définir le terme DL50 mentionné dans la figure 4 ci-dessus.

2.6 En cas de contact cutané avec de l'acide sulfurique concentré, quelles mesures faut-il prendre ?

2.7 Pour diluer un acide avec de l'eau, dans quel sens faut-il faire le mélange : verser l'eau dans l'acide, ou l'acide dans l'eau ? Justifier la réponse.

# PARTIE PHYSIQUE (20 POINTS)

## EXERCICE 1 : PROCÉDÉ DE FILAGE (12 POINTS)

Le procédé de filage d'un PET peut se schématiser de la manière suivante :

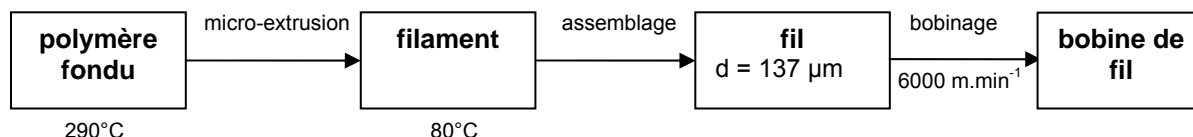


figure 5

Le polymère fondu est porté à 290 °C. Il passe alors dans une filière de forme cylindrique. À la sortie de la filière, le filament obtenu est refroidi rapidement par air froid et les filaments sont rassemblés par groupe de trente pour former un fil de rayon  $r = 70 \mu\text{m}$ . Le fil est ensuite bobiné à la vitesse de  $6000 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ .

On souhaite connaître l'énergie thermique libérée en une minute pour 6 000 m de fil.

### Caractéristiques du PET :

Masse volumique  $\rho = 1380 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Température de fusion  $\theta_f = 255 \text{ }^\circ\text{C}$

Chaleur latente de solidification  $L_s = 115 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$

Capacité thermique massique  $c = 1275 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$

Température de transition vitreuse :  $T_v = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

- Soit un fil d'un mètre, il correspond à un cylindre de longueur  $l = 1,0 \text{ m}$  et de rayon  $r = 70 \mu\text{m}$ .
  - Calculer le volume  $V_{\text{fil}}$  en  $\text{m}^3$  d'un fil d'un mètre de longueur. On donne  $V_{\text{fil}} = \pi \cdot r^2 \cdot l$ .
  - Déterminer le volume  $V$  occupé par 6 000 m d'un tel fil.
  - En déduire la masse  $M$  de 6 000 m de fil polyester produit en une minute.
- Durant la transformation, le polymère passe de 290 °C à 80 °C.
  - Que se passe-t-il quand la température atteint 255 °C ?
  - À quoi correspond la température de 80 °C pour le PET ? Quelle est la signification physique de cette température ?
- On suppose que la masse  $M$  des 6 000 m de fil polyester est égale à 0,127 kg. On étudie cet échantillon.
  - Déterminer l'énergie  $Q_1$  libérée par cet échantillon de polymère lorsqu'il se refroidit de 290 °C jusqu'au début de la solidification à 255 °C.
  - Déterminer l'énergie  $Q_2$  libérée par la solidification de l'échantillon de polymère.
  - Déterminer l'énergie  $Q_3$  libérée pendant le refroidissement de l'échantillon de polymère, entre la fin de la solidification et 80°C.
  - En déduire l'énergie totale  $Q_T$  libérée par l'échantillon de polymère en une minute.
  - Montrer alors que la puissance thermique dégagée par une telle installation est  $P = 778 \text{ W}$ .



## EXERCICE 2 : COLORATION DES TEXTILES (8 POINTS)

L'indigo est un colorant très utilisé dans l'industrie textile, notamment pour la coloration des jeans ; de 15 000 à 20 000 tonnes d'indigo sont synthétisées chaque année. Le spectre d'absorption d'une solution d'indigo est présenté sur la figure 6.

absorbance

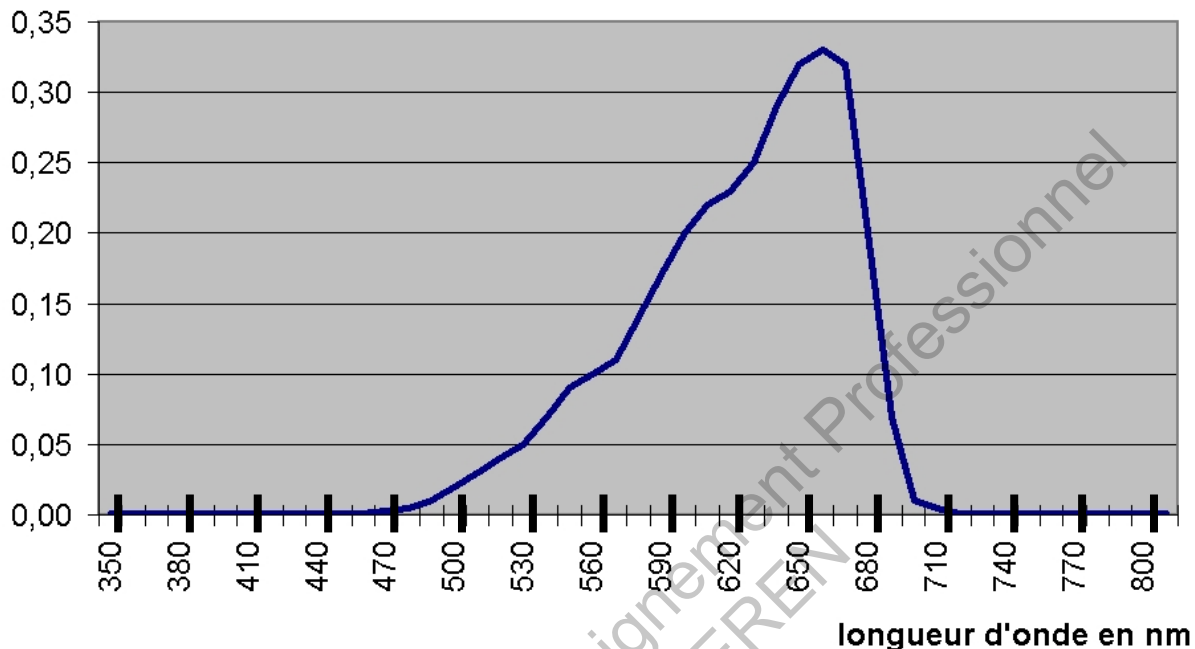


figure 6 : spectre d'absorption d'une solution d'indigo

1. Déterminer la zone des radiations absorbées par la solution d'indigo.
2. Pour quelle longueur d'onde  $\lambda_{\max}$  l'absorption est-elle maximale ?
3. Déterminer la fréquence  $\nu$  de cette radiation.
4. Calculer l'énergie associée à un photon de cette fréquence en joules (J) puis en électron-volts (eV).
5. Dans quel intervalle se situent les longueurs d'onde du domaine visible ?
6. Justifier la couleur bleue de l'indigo à partir du spectre d'absorption.

On donne :  
vitesse de la lumière dans le vide  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$   
constante de Planck  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$   
 $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

**DOCUMENT RÉPONSE  
À RENDRE AVEC LA COPIE**

$$X_i = f(M_i)$$

