



**LE RÉSEAU DE CRÉATION  
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Canopé de l'académie de Montpellier  
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR INDUSTRIES PLASTIQUES - EUROPLASTIC

## SCIENCES PHYSIQUES

SESSION 2016

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 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.*

*Document à rendre avec la copie :*

*Annexe page 13/13*

BTS INDUSTRIES PLASTIQUES-EUROPLASTIC	<b>SUJET</b>	SESSION 2016
Épreuve : SCIENCES PHYSIQUES	Code : ILE3SP	Page : 1/13

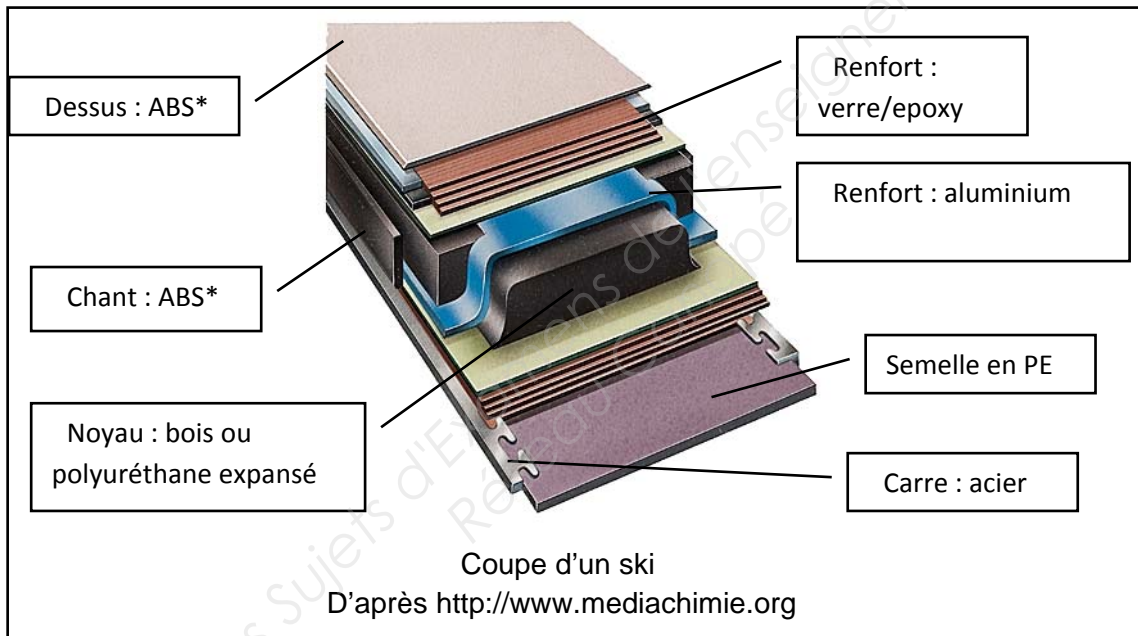


(<http://www.le monde.fr>)

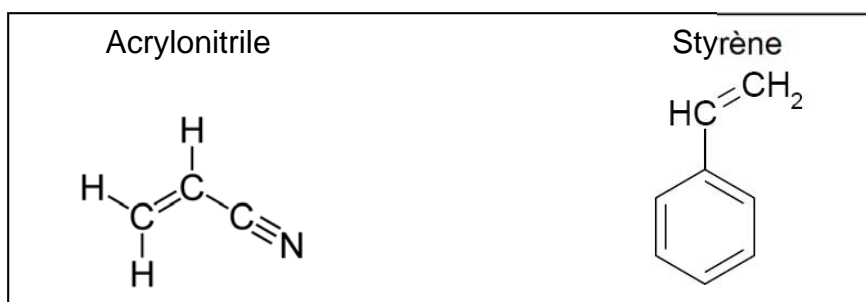
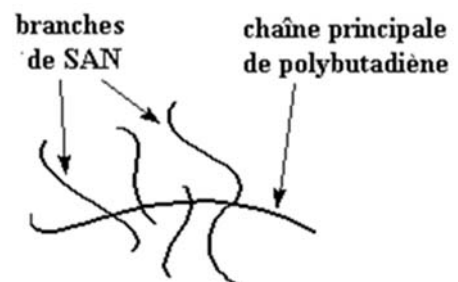
Les matériaux plastiques occupent une place centrale dans le domaine du ski. Les casques de protection, les vêtements, les chaussures et les skis sont constitués en grande partie de matériaux plastiques.

## CHIMIE (40 points)

### Partie A : Matériaux constituant un ski alpin (16 points)



\*L'ABS (acrylonitrile-butadiène-styrène) est un terpolymère fabriqué par polymérisation du styrène et de l'acrylonitrile en présence de polybutadiène. On obtient alors un polymère à chaînes principales de polybutadiène sur lesquelles sont greffées des branches de SAN (styrène-acrylonitrile).

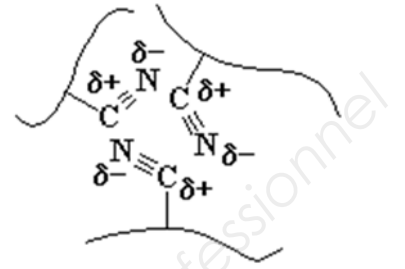


ABS

## 1. « Le dessus » et les « chants » des skis en acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS)

- 1.1. Le SAN est un copolymère statistique. Définir le terme copolymère statistique.
- 1.2. Ecrire l'équation chimique de la polymérisation par polyaddition entre le styrène et l'acrylonitrile conduisant au copolymère SAN.

Entre deux macromolécules de SAN peuvent s'établir de nombreuses liaisons de Van der Waals dues à la polarisation des atomes, comme le montre le schéma ci-contre.



- 1.3. Choisir parmi les deux propositions suivantes, la phrase qui vous semble correcte.

Proposition 1 : les nombreuses liaisons de Van der Waals assurent la cohésion des macromolécules entre elles ce qui améliore les propriétés mécaniques du matériau.

Proposition 2 : les liaisons de Van der Waals sont des liaisons faibles et leur grand nombre rend le matériau plutôt mou.

- 1.4. Le SAN est un polymère amorphe. Expliquer l'expression « polymère amorphe » et en déduire son taux de cristallinité (en pourcentage).

Données : températures de transition vitreuse

SAN (copolymère styrène-acrylonitrile) :  $T_{g1} = 95\text{ °C}$

PB (polybutadiène) :  $T_{g2} = -80\text{ °C}$

- 1.5. À l'aide des températures de transition vitreuse du SAN (styrène-acrylonitrile) et du polybutadiène données ci-dessus, expliquer pourquoi la tenue aux chocs de l'ABS (acrylonitrile-butadiène-styrène) est particulièrement bonne pour des températures usuelles d'utilisation des skis.

## 2. Anti-UV de l'ABS

Pour protéger l'ABS du vieillissement photochimique, il est possible d'utiliser des additifs anti-UV (ultra-violet). Dans le tableau suivant, on trouve les caractéristiques de deux types d'anti-UV couramment utilisés.

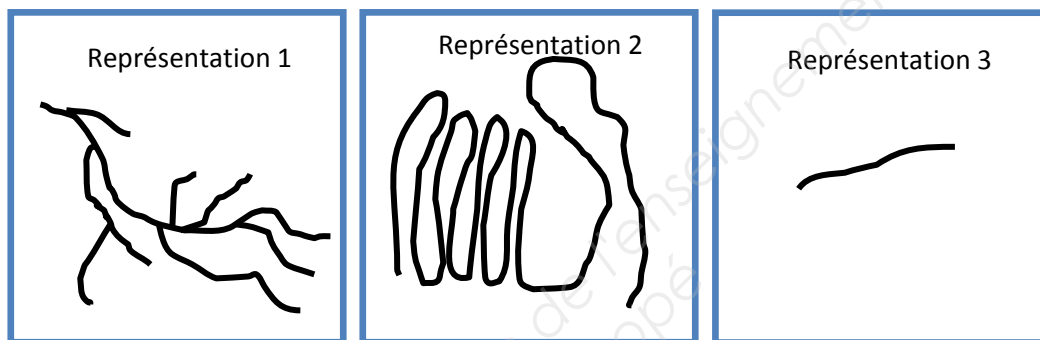
	Anti-UV à base de benzotriazole	Anti-UV à base de benzophénone
Formule brute	$C_6H_5N_3$	$C_{13}H_{10}O$
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	119,13	182,22
Point éclair	170 °C	143 °C
Toxicité orale aiguë (DL 50 pour le rat)	560 mg/kg	10 g/kg
Effet CMR	Sans risque connu	Sans risque connu

- 2.1. Expliquer ce qu'est le « vieillissement photochimique » d'un polymère, en décrivant ses effets sur les chaînes macromoléculaires et les conséquences sur les propriétés mécaniques du matériau. Un schéma explicatif peut être le bienvenu.
- 2.2. Que permet de quantifier la valeur du point éclair d'une substance ?
- 2.3. En utilisant le tableau, quel est l'anti-UV le moins toxique ? Justifier la réponse.

### 3. La « semelle » des skis en polyéthylène (PE)

La semelle d'un ski est l'élément en contact avec la neige. Elle constitue donc l'élément essentiel pour assurer une bonne glisse du ski. Le matériau utilisé est le polyéthylène haute densité (PEHD).

- 3.1. Choisir parmi les représentations suivantes celle qui convient le mieux à la structure d'une macromolécule d'un tel polymère. Justifier la réponse.



- 3.2. Ecrire la formule du motif du PE (polyéthylène).

Données :

Masses molaires atomiques en  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  :  $M(\text{C}) = 12,0$   $M(\text{H}) = 1,0$

Valeur moyenne en nombre du degré de polymérisation du PEHD  $\overline{DP}_n = 2,5 \times 10^5$

- 3.3. A partir des données, calculer la masse molaire moyenne en nombre de ce polymère  $\overline{M}_n$ .
- 3.4. En déduire l'indice de polydispersité  $I_p$  de ce polymère, sachant que sa masse molaire moyenne en poids est  $\overline{M}_p = 7,3 \times 10^6 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- 3.5. Que peut-on dire de la taille des macromolécules dans ce matériau ? Que peut-on en conclure de la qualité du matériau ?

## Partie B : Chaussure de ski de fond (24 points)

### 1. Un nouveau matériau pour les chaussures

A l'occasion du salon ISPO sur les dernières tendances dans les équipements sportifs d'hiver et de plein air, qui s'est tenu du 26 au 29 janvier à Munich, a été présenté un nouvel élastomère thermoplastique de la famille des polyéthers bloc amides (PEBA). Il s'agit d'un tout nouveau polymère biosourcé rigide qui ouvre de nouvelles possibilités pour la conception des chaussures de ski, en apportant légèreté et réactivité aux mouvements du skieur. Il offre aussi aux designers une grande liberté pour la décoration des chaussures. Ce polymère est 50 % plus rigide que les matériaux de référence actuels renommés depuis plusieurs années pour la fabrication des chaussures de ski alpin de randonnée et de ski de fond. Il est constitué à 90 % d'un matériau à base de matières premières renouvelables (huile de ricin). Résistant aux UV, ses performances restent inchangées même dans des conditions de froid extrême.

Ce matériau assure le compromis parfait entre légèreté et performances sur les pentes, qualités attendues par de plus en plus de sportifs pratiquant le ski free-ride.

**D'après <http://www.arkema.com/fr/media>**

Un polyéther bloc amide ou PEBA est un élastomère thermoplastique (TPE). Il s'agit d'un copolymère séquencé obtenu par polycondensation des fonctions acide carboxylique d'un PA (PA-6 ou PA-11 ou PA-12) avec un alcool polyéther.

PEBA est un élastomère thermoplastique de haute performance. Il est utilisé pour remplacer les élastomères courants : les polyuréthanes thermoplastiques, les élastomères de polyester et les silicones. Il possède une masse volumique parmi les plus faibles des TPE, des propriétés mécaniques et dynamiques supérieures (flexibilité, résistance au choc, bonne transmission de l'énergie, résistance à la fatigue), le maintien de ces propriétés à basse température (inférieure à  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) et une bonne résistance contre une large gamme de produits chimiques.

**Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/PEBAX>**

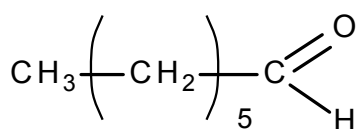
1.1. Quelle est la matière première utilisée pour le PEBA, d'après les documents précédents ?

1.2. Qu'est-ce qu'un élastomère thermoplastique ?

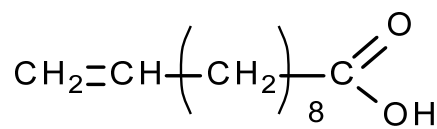
1.3. Quel est l'avantage d'un matériau de faible masse volumique pour la fabrication de chaussures de ski ?

### 2. Synthèse du polyéthylène bloc amide (PEBA) à partir des graines d'un arbre

Les graines du petit arbre nommé « ricinus communis » sont riches en molécules d'acide ricinoléique. Par distillation de l'huile extraite des graines, on obtient un mélange de deux composés dont les formules des molécules sont :



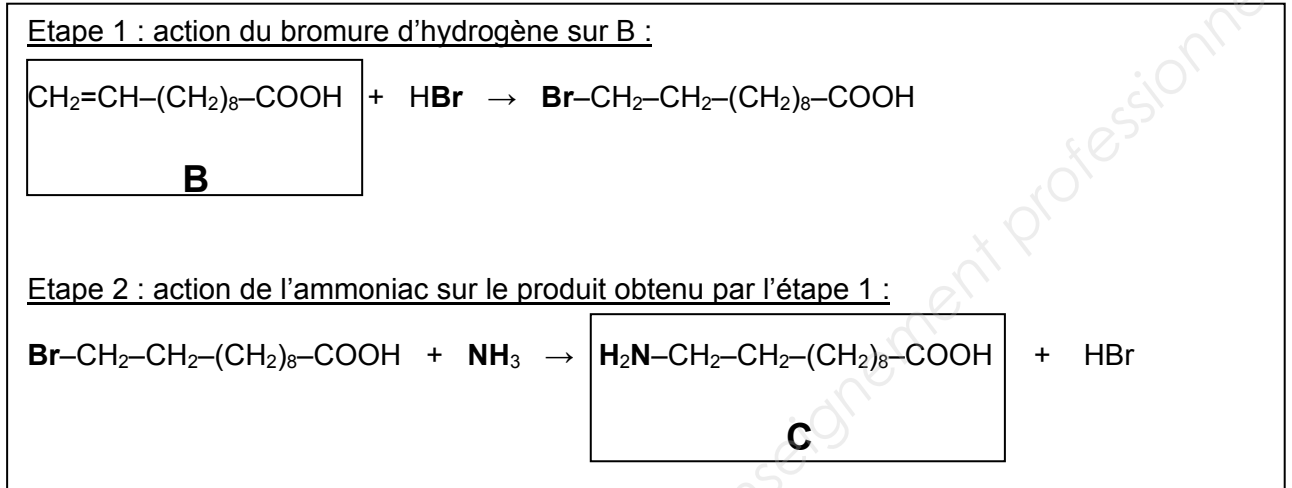
**A**



**B**

- 2.1. Nommer le composé A.  
 2.2. Le composé B présente-t-il des isomères de configuration Z et E ? Expliquer.

Le composé B subit deux étapes successives (étape 1 et étape 2). On obtient alors un composé C.



- 2.3. Pour chacune des deux étapes, choisir le nom de la transformation chimique parmi les termes suivants : combustion, addition, élimination, substitution ou estérification.  
 2.4. Nommer les fonctions chimiques présentes dans le composé C.

Le composé C est le monomère du PA-11 (polyamide 11).

- 2.5. Définir le terme « monomère ».  
 2.6. Ecrire l'équation chimique correspondant à la polymérisation du composé C conduisant au PA-11. Préciser s'il s'agit d'une polyaddition ou d'une polycondensation.

### 3. Exemple d'analyse du PEBA synthétisé

Avant de mettre en œuvre le polymère, on effectue plusieurs analyses du produit obtenu. On étudie dans cette question un seul type d'analyse réalisé à partir du dispositif AQUATRAC®.

**Principe de la Mesure**

L'eau et l'hydruure de calcium réagissent pour produire de l'hydrogène suivant l'équation:

$$\text{CaH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 2\text{H}_2$$

Cette réaction intervient dans la cuve étanche de l'AQUATRAC. Avant la mesure, le vide est réalisé à l'aide de la pompe incorporée. L'échantillon pesé est monté en température. La vapeur d'eau libérée réagit avec l'hydruure de calcium, et la pression d'hydrogène s'élève de façon rigoureusement proportionnelle à la quantité d'eau contenue dans l'échantillon. Les substances volatiles autres que la vapeur d'eau sont condensées dans un refroidisseur, et n'influencent pas la mesure. Un capteur piezzo-résistif transmet la pression d'hydrogène au système électronique qui indique directement le pourcentage d'humidité mesuré dans le polymère.

Brabender Messtechnik®



3.1. Que permet de mesurer l'appareil AQUATRAC® pour un polymère ?

On analyse un échantillon de PEBA de masse 3,52 g. L'appareil AQUATRAC® donne les indications suivantes :

$P_{H_2} = 229 \text{ hPa}$
$V = 200 \text{ mL}$
$\theta = 80 \text{ }^\circ\text{C}$
$m = 3,52 \text{ g}$

Données :

Loi des gaz parfaits :  $P.V = n.R.T$

P : pression du gaz (Pa)

V : volume de gaz ( $\text{m}^3$ )

n : quantité de matière de gaz (mol)

$R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

T : température (K)

On donne les masses molaires atomiques en  $\text{g.mol}^{-1}$  :

$M(\text{O}) = 16,0$

$M(\text{H}) = 1,0$

3.2. A l'aide de la loi des gaz parfaits, calculer la quantité (en mol) de gaz dihydrogène libéré par la réaction entre l'eau et l'hydrure de calcium.

3.3. Déterminer la quantité (en mol) d'eau qui a réagi avec l'hydrure de calcium.

3.4. Calculer la masse d'eau correspondante.

3.5. En déduire le pourcentage en masse d'eau contenue dans l'échantillon de PEBA analysé.

Pour une mise en œuvre optimale, la valeur limite d'eau contenue dans un PEBA ne doit pas dépasser 0,25 % en masse.

3.6. Que dire du produit analysé ?

3.7. Quel traitement cette matière doit-elle subir avant sa mise en œuvre ?

## PHYSIQUE (20 points)

### Partie A : Fabrication par injection d'un élément d'une fixation de ski (7 points)

Les fixations des chaussures de ski comportent de nombreux éléments en plastique. Un des matériaux communément utilisé est le polyoxyméthylène (POM), pour ses excellentes propriétés mécaniques. Certaines caractéristiques du POM sont données dans le tableau suivant.



Masse volumique	1,41 g.cm <sup>-3</sup>
Taux de cristallinité	85 %
Coefficient de dilatation volumique (entre 20 °C et 120 °C)	3,3 x 10 <sup>-4</sup> K <sup>-1</sup>
Température de transition vitreuse	- 65 °C

1. La partie arrière de la fixation de ski, constituée de POM, est obtenue par injection. La pièce a un volume  $V = 82,3 \text{ cm}^3$  à 20,0 °C. Montrer que la masse de la pièce vaut 116 g.
2. La presse à injecter transforme chaque heure 20,0 kg de matière. Calculer le nombre de pièces obtenues en une heure.
3. Sur la courbe enthalpique du POM figurant sur **le document 1 en ANNEXE à rendre avec la copie**, représenter la plage de températures correspondant à la fusion du polymère. Donner un encadrement approximatif de cette plage de températures.
4. A l'aide de la courbe enthalpique donnée sur **le document 1 en ANNEXE à rendre avec la copie**, déterminer la valeur de l'énergie thermique qu'il faut apporter pour amener 20,0 kg de POM d'une température  $\theta_i = 20,0 \text{ °C}$  à une température  $\theta_f = 200 \text{ °C}$ .
5. En déduire la puissance thermique de cette transformation, sachant qu'elle se déroule en une heure.

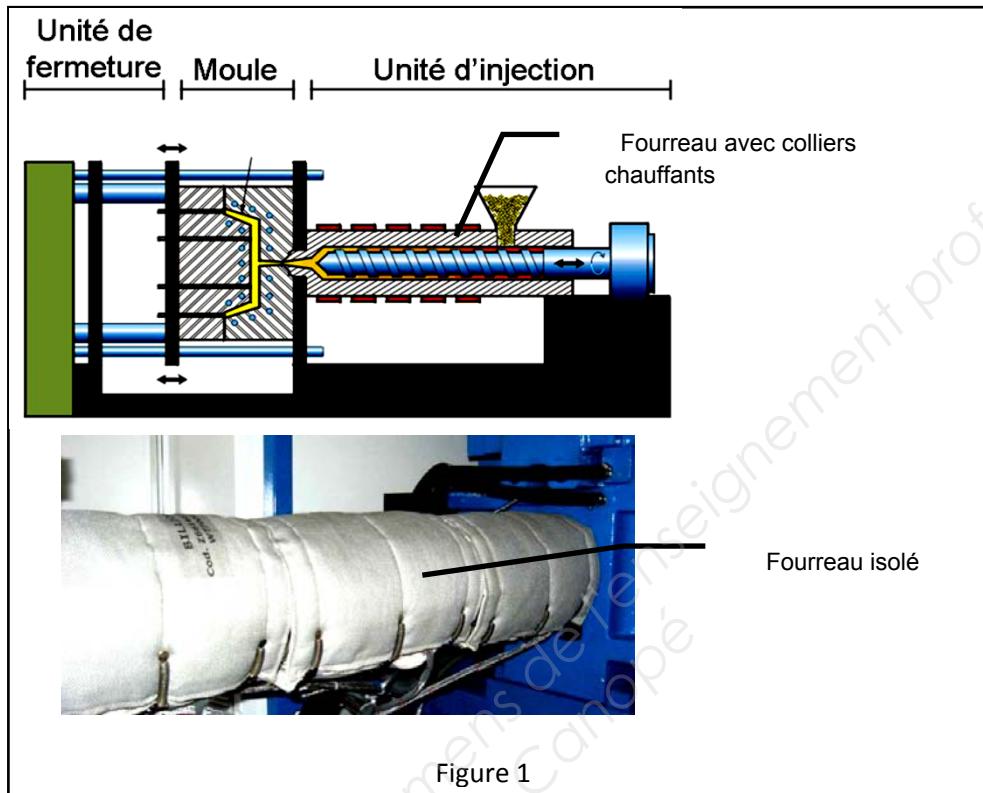
Des colliers chauffants (conducteurs ohmiques ou « résistances électriques ») permettent de chauffer le polymère.

6. Pourquoi les colliers chauffants doivent-ils dissiper une puissance électrique supérieure à celle trouvée dans la question 5 ?

## Partie B : Comment réduire la facture énergétique d'un atelier de production ? (13 points)

Une première réflexion porte sur l'isolation thermique d'une partie des machines de mise en œuvre.

### 1. Isolation des fourreaux



Flux thermique surfacique échangé par convection (en  $W.m^{-2}$ ) :

$$\Phi_{\text{conv}} = h.(T_1 - T_0)$$

$h$  : coefficient de convection thermique

Matériau / fluide	Valeur de $h$ (en $W.m^{-2}.K^{-1}$ )
Métal / huile	100
Métal / eau	300
Métal / air	7,0

Flux thermique surfacique échangé par rayonnement (en  $W.m^{-2}$ ) :

$$\Phi_{\text{ray}} = \sigma.e.(T_1^4 - T_0^4)$$

$\sigma$  : constante de Stephan  $\sigma = 5,67.10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$

$e$  : émissivité du matériau (grandeur sans unité, se servir du tableau suivant)

Matériau émetteur	Valeur de $e$
Argent poli	0,02
Acier non oxydé (en moyenne)	0,15
Acier oxydé (en moyenne)	0,55
Peinture rouge	0,85
Peinture noire	0,95

Figure 2

Le fourreau, constitué d'un acier non oxydé, est à la température  $T_1 = 110\text{ °C}$  et l'air ambiant à la température  $T_0 = 25\text{ °C}$ .

- 1.1. Déterminer la valeur du flux thermique surfacique  $\Phi_1$  (en  $\text{W.m}^{-2}$ ) rayonné par le fourreau.
- 1.2. Calculer le flux thermique surfacique de convection  $\Phi_2$  (en  $\text{W.m}^{-2}$ ) sortant du fourreau.
- 1.3. En déduire la valeur du flux thermique surfacique total  $\Phi_{\text{total}}$  (en  $\text{W.m}^{-2}$ ) sortant du fourreau.
- 1.4. A l'aide de la figure 2, expliquer pourquoi il est important que l'acier du fourreau ne soit pas oxydé.

On isole les fourreaux comme indiqué sur la figure 1. Avec l'isolation proposée, le flux thermique surfacique sortant du fourreau vaut :  $\Phi_{\text{isolé}} = 56\text{ W.m}^{-2}$ .

- 1.5. Déduire de la question 1.3 la réduction en pourcentage des pertes thermiques. En quoi cette réduction diminue-t-elle la facture énergétique ?

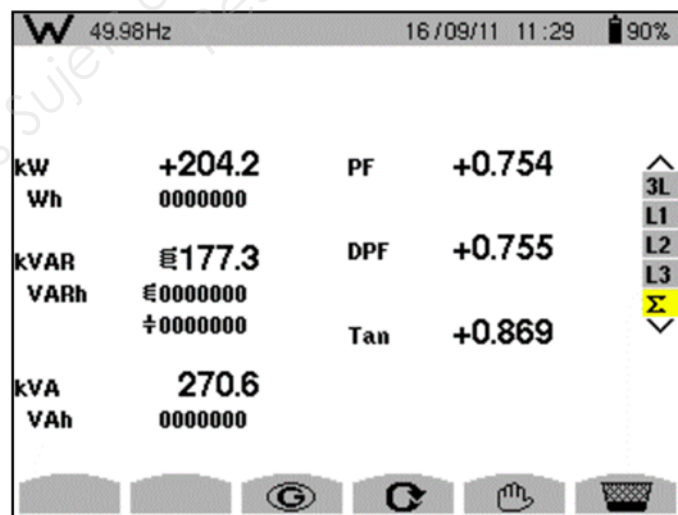
Pour réduire la facture énergétique d'un atelier de production, on peut aussi agir au niveau du facteur de puissance de l'installation.

## 2. Facteur de puissance de l'installation

L'atelier de production est alimenté par un réseau électrique triphasé dont les caractéristiques sont les suivantes :

$$400\text{ V} - 230\text{ V} / 50\text{ Hz}$$

On visualise également les consommations électriques, exprimées en puissances, de l'atelier :



- 2.1. À quoi correspondent les tensions 400 V et 230 V pour le réseau triphasé ?
- 2.2. À partir du relevé ci-dessus, donner les valeurs suivantes :
  - puissance active consommée,
  - puissance réactive consommée,
  - puissance apparente consommée.

- 2.3. Déterminer la valeur de l'intensité du courant de ligne (courant circulant dans une des trois phases du réseau triphasé), qui alimente l'atelier.
- 2.4. À partir des données, calculer le facteur de puissance  $\cos \varphi$  de l'atelier.

Le fournisseur d'électricité surtaxe les installations électriques dont le facteur de puissance est inférieur à 0,920. Pour relever le facteur de puissance, on installe en ligne un ensemble de condensateurs.

- 2.5. Expliquer pourquoi on procède ainsi.

Données :

$$C = \frac{P \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi')}{3 \cdot \omega \cdot U^2}$$

où,

C : capacité de l'ensemble de condensateurs (F)

P : puissance active (W)

$\varphi$  : déphasage tension-courant correspondant au facteur de puissance actuel

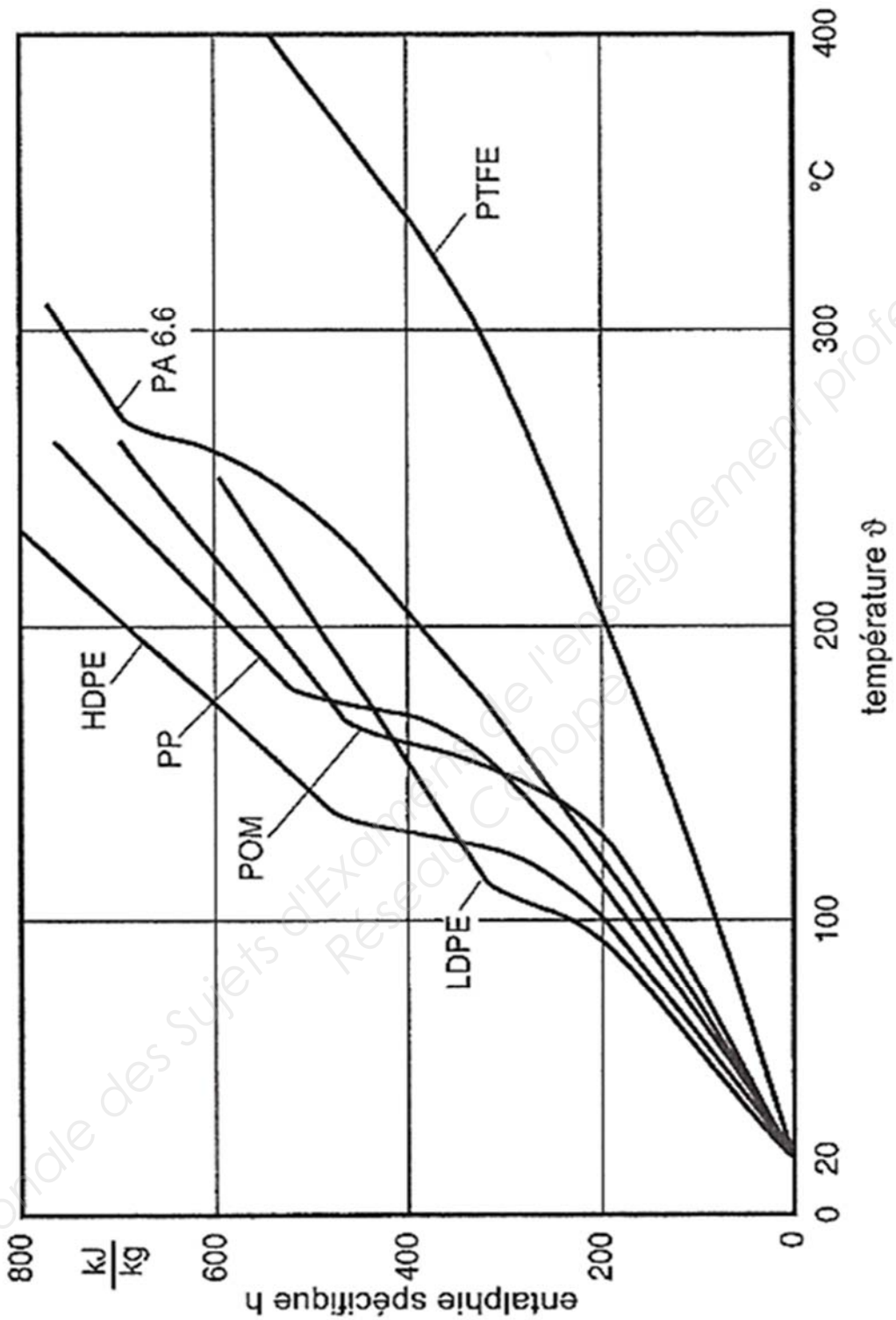
$\varphi'$  : déphasage tension-courant correspondant au facteur de puissance escompté

$\omega$  : pulsation ( $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ )

U : valeur efficace de la tension composée du réseau triphasé (V)

- 2.6. A l'aide des données ci-dessus, calculer la capacité totale de l'ensemble de condensateurs à insérer dans l'installation, si on veut relever le facteur de puissance à  $\cos \varphi' = 0,920$ .

# ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE



**Document 1 :** Courbes d'enthalpies spécifiques (ou massiques) en fonction de la température (en  $^{\circ}\text{C}$ ) pour plusieurs polymères (POM, PP, PA 6-6 ...)