



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

**Ce document a été numérisé par le Canopé de l'académie de Bordeaux
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 2014

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 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

La page 11 est à rendre avec la copie.

BTS INDUSTRIES PLASTIQUES-EUROPLASTIC	SUJET	SESSION 2014
Epreuve : SCIENCES PHYSIQUES	Code : ILE3SP	Page : 1/11

CHIMIE sur 40 points

Le CD (Compact Disc) est un disque optique de 12 cm de diamètre et de 1,2 mm d'épaisseur permettant de stocker des informations numériques.



Les CD audio et les CD-ROM sont constitués de quatre couches (voir figure 1) :

- une face imprimée (1) : sur laquelle on peut écrire le titre du CD ;
- un vernis protecteur (2) : couche de laque uréthane anti-UV créant un film protecteur pour les données ;
- une fine pellicule métallique réfléchissante (3) où sont stockées les données du CD ;
- un substrat en matière plastique (4) (polycarbonate (PC) ou polyméthacrylate de méthyle (PMMA)).

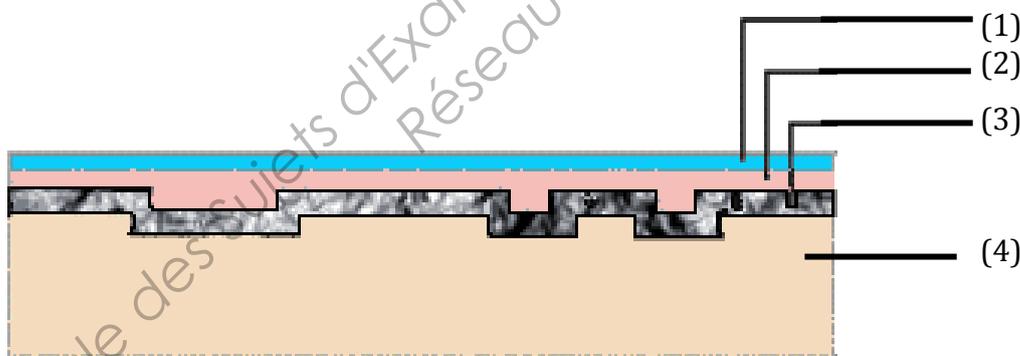


Figure 1 : Structure d'un CD

Partie A : polymères et stockage optique de données (18 points)

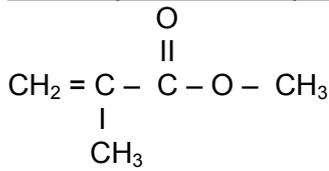
On étudie dans un premier temps les polymères utilisés dans la composition d'un CD.

1. Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA).

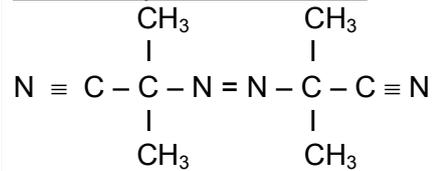
Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) est synthétisé à partir d'un monomère M, le méthacrylate de méthyle (MMA) par une polymérisation en chaîne.

BTS INDUSTRIES PLASTIQUES-EUROPLASTIC	SUJET	SESSION 2014
Epreuve : SCIENCES PHYSIQUES	Code : ILE3SP	Page : 2/11

Méthacrylate de méthyle (MMA) :



Azoisobutyronitrile (AIBN) :



On donne les étapes élémentaires du mécanisme de la polymérisation avec un amorceur radicalaire A_0 source de radicaux A^\bullet

- (1) $A_0 \rightarrow 2A^\bullet + A_1$
- (2) $A^\bullet + M \rightarrow AM_1^\bullet$
- (3) $AM_1^\bullet + M \rightarrow AM_2^\bullet$
- (4) $AM_2^\bullet + M \rightarrow AM_3^\bullet$
-
- (i) $AM_{i-1}^\bullet + M \rightarrow AM_i^\bullet$
-
- (i+j) $AM_i^\bullet + AM_j^\bullet \rightarrow AM_{i+j}$

A_1 est un sous-produit qui n'intervient pas dans la suite du mécanisme.

M représente le monomère et AM_i^\bullet le radical formé par réaction de A avec i monomères.

AM_{i+j} sont les polymères que l'on notera plus habituellement M_n .

- 1.1 Écrire l'équation de la réaction de polyaddition (ou polymérisation par addition) de méthacrylate de méthyle (MMA) en polyméthacrylate de méthyle (PMMA) sans tenir compte de l'amorceur.
- 1.2 Identifier dans l'équation de la question 1.1. le polymère, le monomère, le motif et le degré de polymérisation.
- 1.3 Citer le nom d'un amorceur.
- 1.4 Écrire l'étape (1) du mécanisme réactionnel dans le cas où A_0 est l'azoisobutyronitrile (AIBN), sachant qu'une molécule d'AIBN produit deux radicaux identiques A^\bullet et une molécule de diazote.
- 1.5 Lors de l'étape (1) du mécanisme réactionnel, il se produit des « ruptures homolytiques ». Expliquer l'expression « ruptures homolytiques ».
- 1.6 Le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) formé peut être un polymère isotactique ou syndiotactique. Schématiser un polymère isotactique puis un polymère syndiotactique.

On compare les propriétés de deux polymères pouvant constituer le substrat (4) défini sur la figure 1.

2. La figure 2 représente le trajet du rayon du laser du lecteur CD à travers le substrat (4) formé de polyméthacrylate de méthyle (PMMA) ou de polycarbonate (PC).

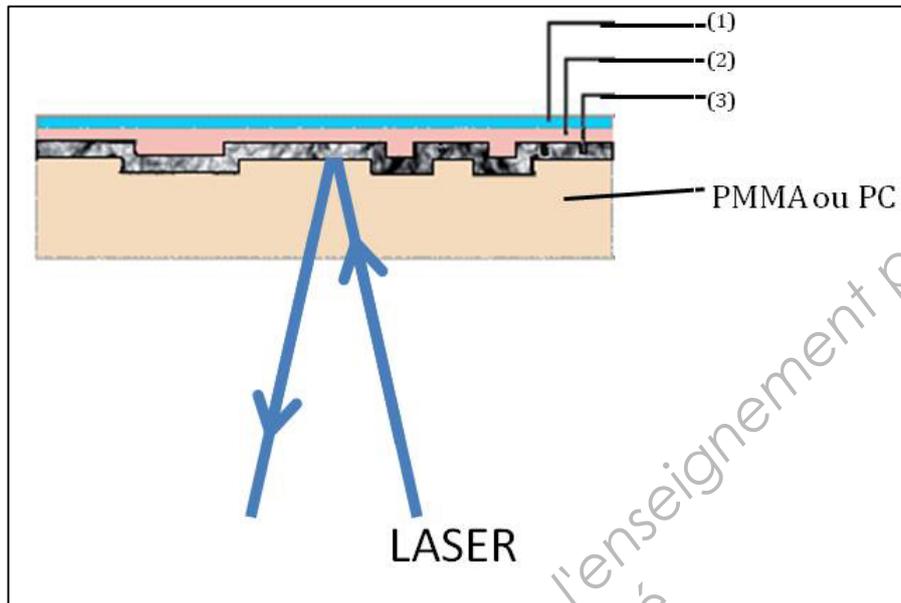


Figure 2 : Schéma fonctionnel d'un lecteur CD

La figure 3 comporte un tableau donnant les propriétés de ces deux polymères :

	PMMA	PC
Transmission optique sur 3 mm	90 %	92 %
Prise d'eau (masse d'eau / masse de polymère) à 25°C	1,9 %	0,3 %
Coefficient de dilatation thermique (en K ⁻¹)	2,0.10 ⁻⁴	1,7.10 ⁻⁴

Figure 3 : Propriétés physiques de deux polymères.

Les propriétés physiques du CD peuvent évoluer en fonction des conditions extérieures (météo, échauffement du lecteur CD).

En vous aidant des figures 2 et 3, indiquer la matière plastique la plus adaptée pour fabriquer un CD. Justifier la réponse.

3. Afin d'augmenter la rigidité du CD, on utilise une famille de laques qui sont les résines uréthane acrylique. Elles se présentent sous la forme d'un polymère réticulé, à la différence du PPMA ou du PC qui sont des polymères linéaires.

3.1 Schématiser un polymère linéaire et un polymère réticulé.

3.2 Expliquer pourquoi les matériaux fabriqués à partir de ces deux types de polymères ont des propriétés différentes.

Partie B : formulation d'une résine pour blister (12 points)

Les blisters pour les emballages CD sont faits à partir de matières plastiques différentes : PVC, PET, PP, etc.

La figure 4 décrit la formulation d'une résine PVC. Il s'agit de la composition exprimée en PCR (pourcentage massique des constituants de la résine).

<u>La résine</u>	
PVC homopolymère (S266RC)	100
<u>Stabilisants</u>	
« One pack » Ca/Zn (Mark CZ 2000)	2
HSE (huile de soja époxydée)	2
<u>Lubrifiants</u>	
Acide 1,2 dihydroxystéarique (Loxiol G 21B)	0,3
Tristéarate de glycérol (Radia 3059 ou Loxiol G 15)	1
Paraffine ou PE oxydé (Lub 75 M)	0,1
Phtalates d'alcool C16-C18 (Ligalub, Fae ou Loxiol G60)	0,8
<u>Charges minérales</u>	
CaCO ₃ , extraits de minerais	15

Figure 4 : Formulation d'une résine PVC
(d'après <http://matheux.ovh.org/ARC/6TQPLASTLesMelanges.pdf>)

Le texte de la figure 5 fournit quelques indications sur le comportement du PVC soumis à des températures élevées

La mise en œuvre du PVC peut être réalisée par des opérations thermomécaniques de nature très diverses : extrusion, calandrage, injection. Le PVC se comporte comme un polymère thermoplastique.

Dès 60 °C, le PVC « vierge », c'est-à-dire exempt de tout additif, est le siège d'un phénomène typique de dégradation : il prend rapidement une coloration rose, nettement visible à l'œil.

Dans le cas d'un « choc thermique » deux phénomènes se manifestent simultanément pour le PVC

- le développement d'une coloration qui s'accroît très rapidement.
- l'émission de chlorure d'hydrogène (HCl) gazeux (et chaud !)

Figure 5 : Comportement du PVC soumis à des températures élevées
(d'après <http://matheux.ovh.org/ARC/6TQPLASTLesMelanges.pdf>)

1. Donner la définition du terme « thermoplastique ».
2. Pourquoi utilise-t-on des lubrifiants dans la composition d'une résine PVC ?
3. Donner un exemple concret où l'ajout de charges dans la formulation d'une matière plastique est intéressant.
4. D'après le texte de la figure 5, quel est le principal intérêt d'ajouter un stabilisant à une résine ?

5. On aimerait fabriquer un emballage CD en PVC dont la couleur reste stable au cours du temps. A l'aide des données du tableau ci-dessous, quelle famille d'additifs (pigments ou colorants) faut-il ajouter à la formulation de la résine PVC ? Justifier la réponse.

Colorants	Pigments
Origine organique	Origine minérale
Peu opacifiant	Opacifiant
Tenue moyenne au vieillissement	Assure une bonne tenue au vieillissement

Partie C : analyse de la matière plastique d'un coffret (10 points)

Une série d'échantillons de coffrets CD, en polystyrène (PS), est analysée par Chromatographie à Exclusion Stérique (SEC). Le principe en est donné sur la figure 6.

Cette technique consiste à faire passer le polymère, sous forme de perles, dans une colonne remplie de billes poreuses. Selon la taille du polymère, il rentre plus ou moins dans les billes et sort de la colonne après un temps plus ou moins long. Ce temps est appelé temps de rétention qui est caractéristique de la taille et donc de la masse molaire du polymère.

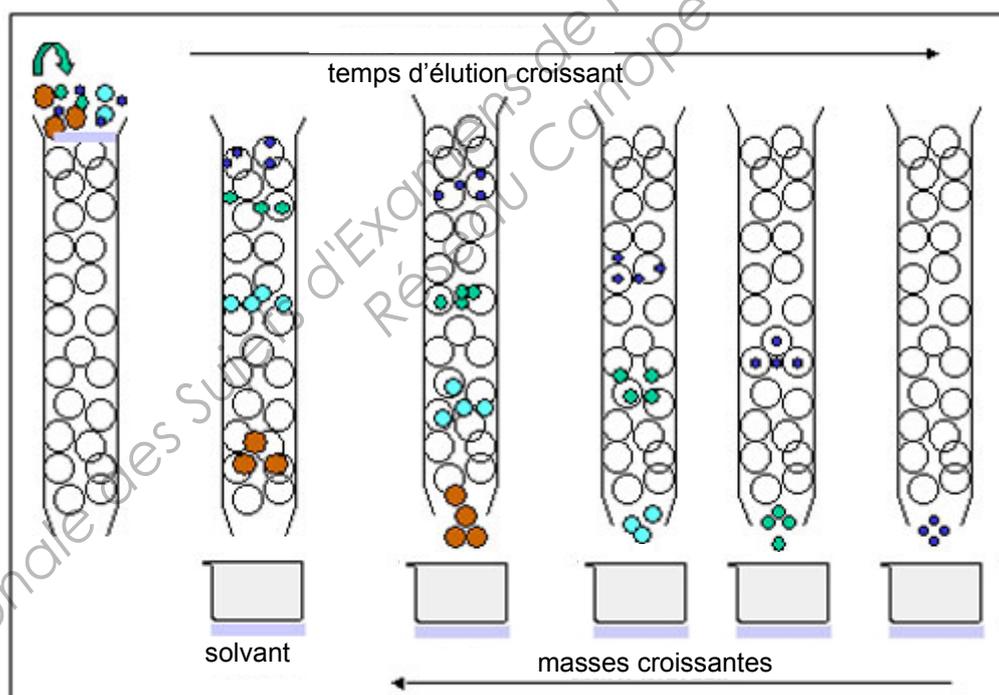


Figure 6 : Principe de la chromatographie à exclusion stérique

Après avoir mesuré le temps de rétention t_r (en min), pour différents polymères de masse molaire moyenne M (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$), toutes choses égales par ailleurs, on construit un modèle reliant M et t_r :

$$\text{Log}_{10} M = 5,865 + 1,411 t_r - 0,333 (t_r)^2 + 0,016 (t_r)^3.$$

BTS INDUSTRIES PLASTIQUES-EUROPLASTIC	SUJET	SESSION 2014
Epreuve : SCIENCES PHYSIQUES	Code : ILE3SP	Page : 6/11

1. Grâce à cette technique, on obtient un temps de rétention égal à 7,48 min pour le polystyrène des coffrets CD. Calculer la masse molaire moyenne du polymère analysé.

2. Sachant que la masse molaire du styrène est de $104 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, en déduire la valeur moyenne du degré de polymérisation du polymère analysé.

3. Le polystyrène est obtenu à partir du styrène par polyaddition.

3.1 Écrire l'équation de polymérisation du polystyrène.

3.2 La figure 7 donne des informations extraites de la fiche toxicologique du styrène :

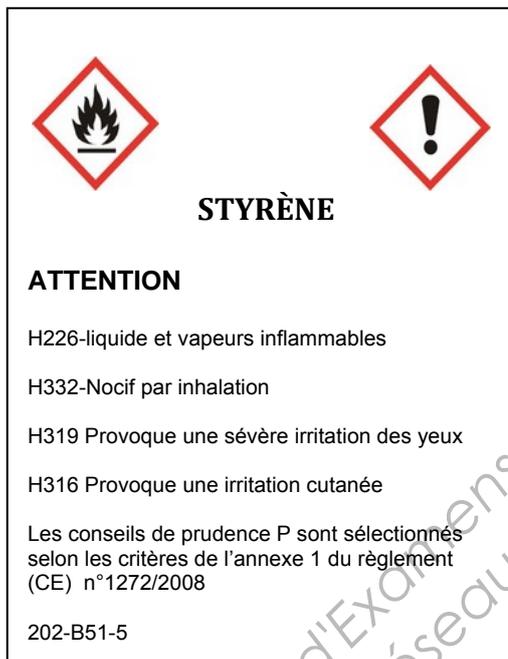


Figure 7 : Fiche INRS du styrène

3.2.1 Donner la signification des deux pictogrammes représentés sur la figure 7.

Voie	Espèce	DL50/CL50
Orale	Rat	1000-5000 mg/kg
	Souris	316 mg/kg
Inhalation	Rat	2770-6000 ppm/4h
	Souris	4940 ppm/2h
	Cobaye	5200 ppm/4h

Figure 8 : DL/CL 50 du styrène

3.2.2 Définir les termes DL 50, CL 50 et ppm sur la figure 8.

3.2.3 Que faut-il faire en cas de contact cutané avec du styrène ?

PHYSIQUE sur 20 points

Partie A : pochettes de rangement pour CD (14 points)

Pour protéger un CD, on peut utiliser une pochette en polypropylène (PP) dont la transparence doit être suffisante pour lire les informations écrites sur le CD.

La fabrication de ce type de pochette se fait à l'aide d'une presse à injecter dont le schéma simplifié est rappelé sur la figure 9 :

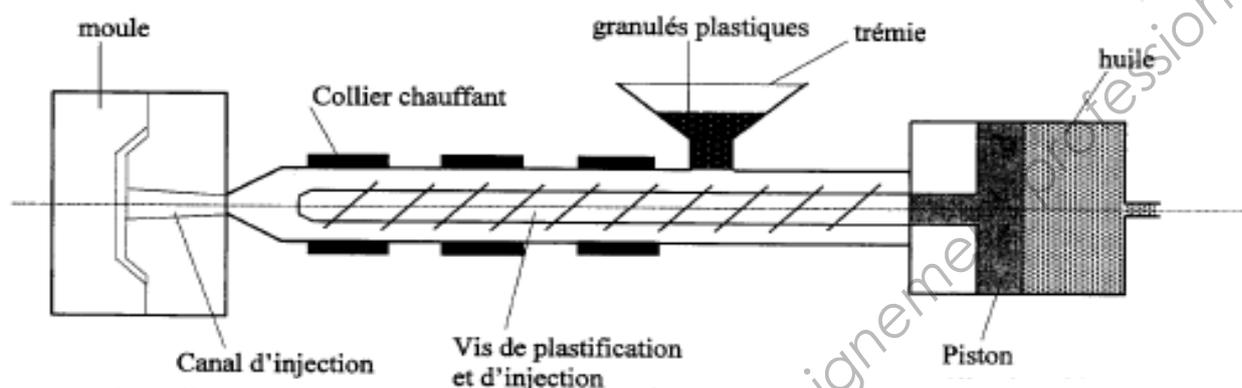


Figure 9 : Schéma simplifié d'une presse à injecter

Les granules plastiques initialement à la température ambiante $\theta_a = 20\text{ }^\circ\text{C}$ sont injectés dans la presse par la trémie (voir figure 9). Il faut une masse $m = 5,0\text{ g}$ de granules pour fabriquer une pochette. Le système de chauffage de la presse permet d'amener les granules à la température d'injection dans le moule $\theta_i = 300\text{ }^\circ\text{C}$.

Au moment du démoulage, la température d'une pochette vaut : $\theta_d = 100\text{ }^\circ\text{C}$.

Données :

- Masse d'une pochette : $m = 5,0\text{ g}$
- Capacité thermique massique du polypropylène à l'état solide : $c_s = 1,5\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique du polypropylène à l'état fondu : $c_f = 1,5\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Chaleur latente de solidification du polypropylène : $L_s = -2,0\text{ kJ.kg}^{-1}$
- Température de solidification du polypropylène : $\theta_s = 240\text{ }^\circ\text{C}$
- Température ambiante : $\theta_a = 20\text{ }^\circ\text{C}$
- Température d'injection des granules dans le moule : $\theta_i = 300\text{ }^\circ\text{C}$
- Température de démoulage : $\theta_d = 100\text{ }^\circ\text{C}$

1.1 Quelle est la température de fusion θ_f du polypropylène ?

1.2 Quelle quantité de chaleur (ou énergie thermique) faut-il apporter pour faire fondre un kilogramme de polypropylène ?

1.3 Exprimer littéralement avec les notations de l'énoncé la quantité de chaleur Q_1 reçue par la masse m du polymère pour passer de la température d'injection θ_i à la température de solidification θ_s . Calculer la valeur de Q_1 .

1.4 Exprimer littéralement avec les notations de l'énoncé la quantité de chaleur Q_2 reçue par la masse m du polymère pour se solidifier. Calculer la valeur de Q_2 .

1.5 Exprimer littéralement avec les notations de l'énoncé la quantité de chaleur Q_3 reçue par la masse m du polymère pour passer de la température de solidification à la température de démoulage. Calculer la valeur de Q_3 .

BTS INDUSTRIES PLASTIQUES-EUROPLASTIC	SUJET	SESSION 2014
Epreuve : SCIENCES PHYSIQUES	Code : ILE3SP	Page : 8/11

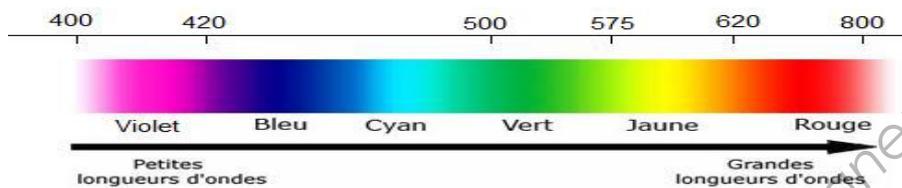
1.6 Vérifier que la quantité de chaleur totale Q reçue par la masse m du polymère vaut $-1,5\text{-kJ}$.

1.7 On donne le temps de refroidissement d'une pochette : $\Delta t = 10,0$ s. Déterminer la puissance P de refroidissement du dispositif.

2. Une fois fabriquées, les pochettes CD sont contrôlées pour tester leur transparence optique. Le dispositif utilisé est constitué d'un laser et d'une lentille mince convergente de distance focale f' .

Données :

- Diamètre du faisceau cylindrique du laser : $d = 5,0$ mm
- Longueur d'onde dans le vide du laser : $\lambda = 550$ nm
- Célérité des ondes électromagnétiques dans le vide : $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Distance focale de la lentille : $f' = 2,0$ cm
- Spectre de la lumière :



- $C = \frac{1}{f'}$ avec f' exprimée en mètre et C en dioptrie (δ)

2.1 En vous servant du document ci-dessus, indiquer la couleur de la lumière du laser.

2.2 Calculer la fréquence du rayonnement émis par le laser.

2.3 Calculer la vergence C de la lentille utilisée dans le dispositif de contrôle.

2.4 Placer les foyers de la lentille sur l'annexe à rendre avec la copie à la page 11.

2.5 Construire sur l'annexe à rendre avec la copie à la page 11 l'image $A'B'$ de l'objet AB .

2.6 Mesurer la taille de $A'B'$. En déduire la valeur algébrique du grandissement.

Partie B : lecture d'un CD par laser (6 points)

Pour lire les CD, on utilise un laser IR de longueur d'onde $\lambda = 780$ nm dans le vide et de puissance $0,30$ mW.

Le rayon du laser traverse d'abord le substrat du CD qui est en polyméthacrylate de méthyle (PMMA), d'indice $n = 1,55$.

D'autre part, les informations stockées lors de la gravure, se font dans des alvéoles de largeur 830 nm et de longueur $1,1$ μm .

Données :

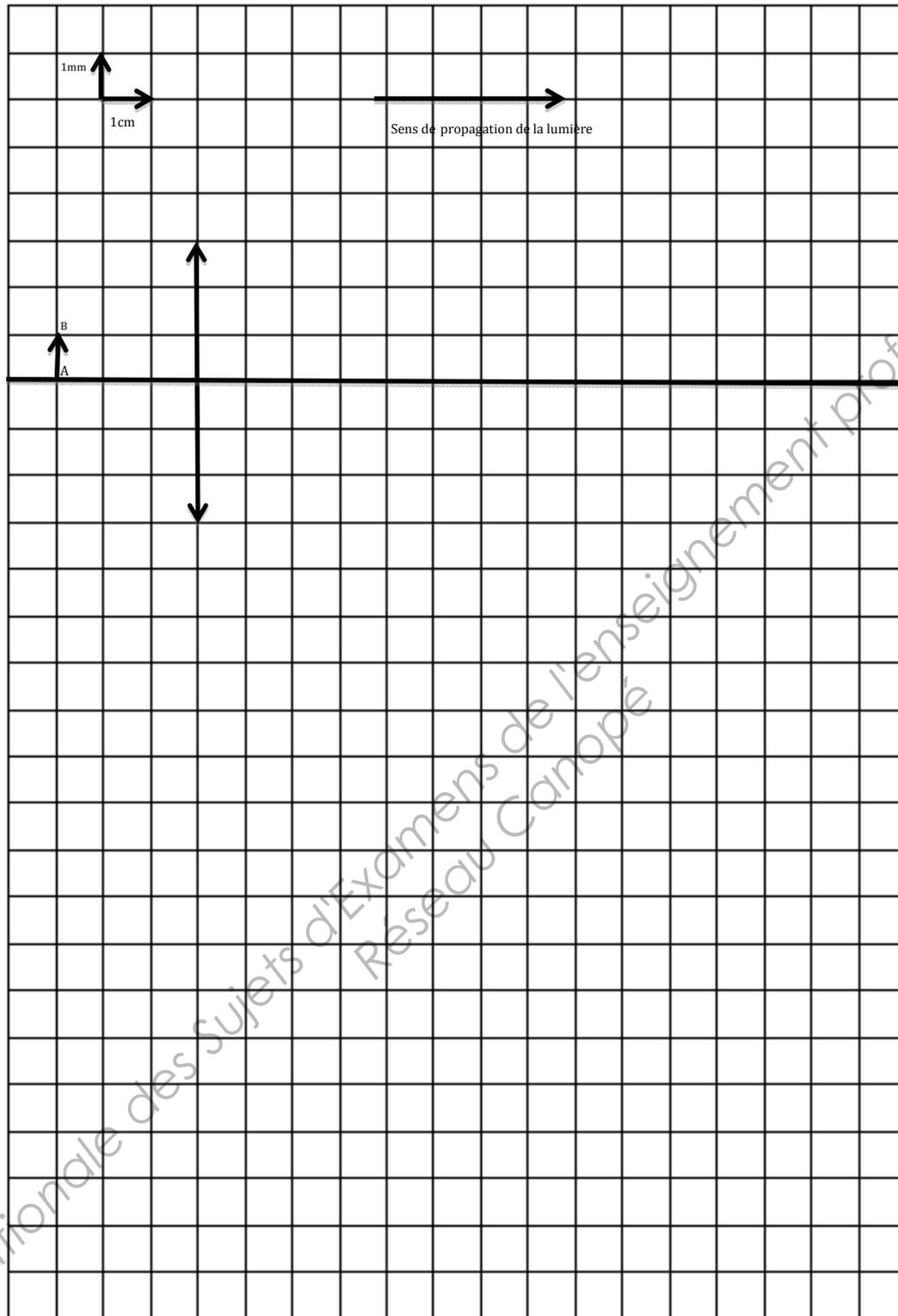
- Longueur d'onde dans le vide du laser $\lambda = 780$ nm
- $P = 0,30$ mW
- $n = 1,55$
- Alvéoles de largeur 830 nm et de longueur $1,1$ μm
- Formule : $n = \frac{c}{v}$, c célérité d'une onde dans le vide
 v célérité de cette onde dans un milieu matériel transparent, d'indice n

1. Quelle est la valeur de la célérité de l'onde associée au laser dans le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) ?
2. Calculer la longueur d'onde du rayon du laser dans le polyméthacrylate de méthyle (PMMA).
3. Sachant que le faisceau du laser doit totalement éclairer les alvéoles, déterminer le diamètre minimal que doit posséder le rayon du laser afin de lire correctement les informations gravées sur le CD.
4. Calculer la puissance surfacique (en W.m^{-2}) du laser, à partir de la valeur du diamètre trouvée dans la question précédente. Commenter la valeur obtenue.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

BTS INDUSTRIES PLASTIQUES-EUROPLASTIC	SUJET	SESSION 2014
Epreuve : SCIENCES PHYSIQUES	Code : ILE3SP	Page : 10/11

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé