BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2016

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Durée de l'épreuve : 3 heures 30
Coefficient : 6

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Obligatoire

Le sujet comporte trois exercices présentés sur 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14, y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I - LES RAYONS X, OUTIL D'INVESTIGATION (6 points)

Les rayons X, découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Röntgen, sont des rayonnements électromagnétiques utilisés principalement en imagerie médicale (radiologie) et en cristallographie (étude des substances cristallines).

L'objectif de cet exercice est d'étudier la production des rayons X et leur utilisation dans l'analyse de la structure des cristaux.

1. Accélération d'un faisceau d'électrons

Les rayons X sont produits dans des dispositifs appelés *tubes de Coolidge* (W.D.COOLIDGE, physicien américain, 1873-1975).

Dans ce dispositif, des électrons émis par un filament chauffé par effet Joule, sont accélérés sous l'effet d'un champ électrique uniforme $\vec{E}$. Ce champ est créé par une tension électrique U d'environ 100 kV.

Les électrons se dirigent vers une cible de molybdène, métal de symbole Mo, avec laquelle ils interagissent pour produire les rayons X. Se déplaçant à une vitesse très élevée, ces électrons peuvent acquérir une énergie cinétique suffisante pour perturber les couches électroniques internes des atomes de la cible. Ces atomes, dans un état excité, vont alors émettre des rayons X en retournant à leur état fondamental.

La figure 1 ci-dessous reprend de manière simplifiée le principe du tube de Coolidge.

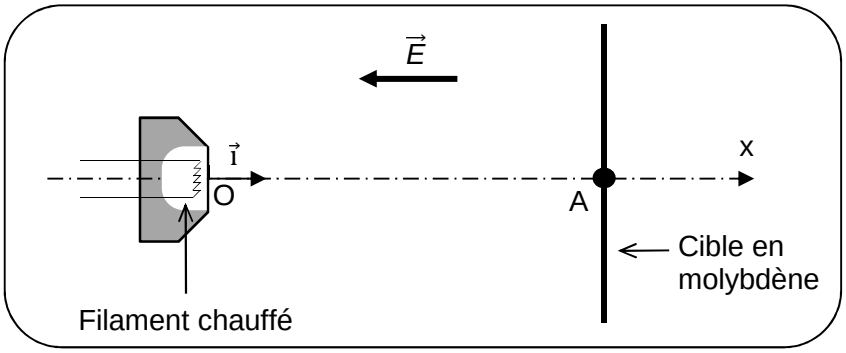


Figure 1

Données :

- entre le filament et la cible, séparées d'une distance $OA = L = 2$ cm, règne un champ électrique uniforme $\vec{E}$ dont la valeur est donnée par la relation : $E = \frac{U}{L}$;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1} ;
- charge électrique élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ;
- masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg ;
- intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ N.kg^{-1} ;
- durée propre et durée mesurée dans le référentiel d'étude:

  Si le référentiel d'étude est galiléen et si le référentiel propre est en mouvement à vitesse constante par rapport à lui, alors la durée mesurée dans le référentiel d'étude vaut :

  $\Delta t_m = \gamma \cdot \Delta t_p$ | Δt_p : durée propre entre les deux événements considérés
  Δt_m : durée mesurée dans le référentiel d'étude supposé galiléen

  γ est appelé coefficient de Lorentz et s'écrit :

  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ | v : vitesse du référentiel propre par rapport au référentiel d'étude
  c : vitesse de la lumière dans le vide

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 2 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

On se propose d'évaluer l'ordre de grandeur de la vitesse atteinte par les électrons lorsqu'ils arrivent sur la cible en molydène.

On suppose pour cela qu'un électron est émis au point O avec une vitesse nulle à t = 0 s. Il arrive au point A avec une vitesse $\vec{v}$.

On considère qu'il est soumis à la force électrique $\overrightarrow{F_e}$.

1.1 Donner l'expression vectorielle de la force électrique $\overrightarrow{F_e}$ subie par un électron.

Comparer la direction et le sens de la force électrique $\overrightarrow{F_e}$ à ceux du champ électrique $\vec{E}$.

1.2 Montrer que dans le cas où la tension électrique U appliquée entre le filament et la cible vaut 100 kV, on peut négliger le poids de l'électron devant la force électrique.

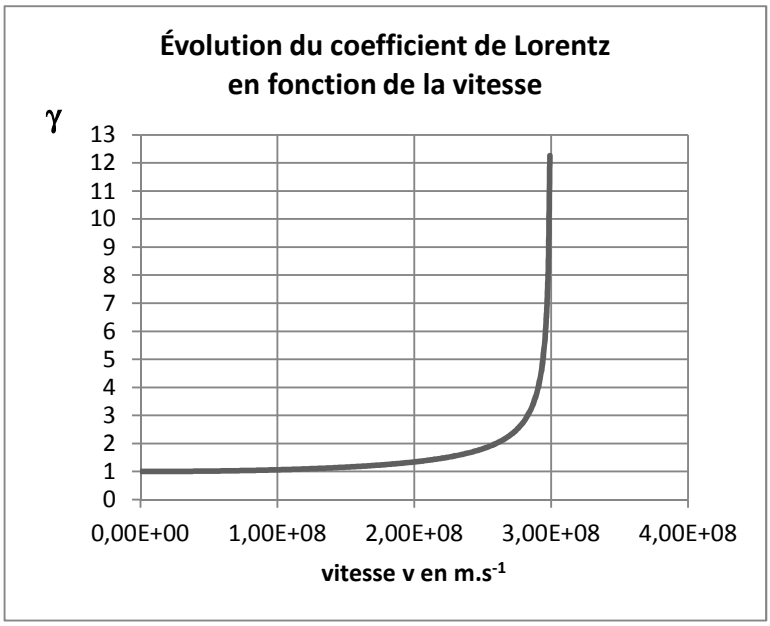
1.3 Montrer que l'expression de la vitesse de l'électron lorsqu'il arrive au point A est :

$$v_A = \sqrt{\frac{2\ e\ .U}{m_e}}$$

Tout élément de la démarche sera valorisé, même si celle-ci n'aboutit pas.

1.4 Calculer la vitesse de l'électron lorsqu'il arrive au point A dans le cas où la tension électrique U appliquée entre le filament et la cible vaut 100 kV.

1.5 Un graphe représentant l'évolution du coefficient de Lorentz en fonction de la vitesse est fourni ci-dessous. Pensez-vous qu'un modèle relativiste conviendrait mieux à l'étude mécanique du mouvement de l'électron ? Justifier votre réponse.



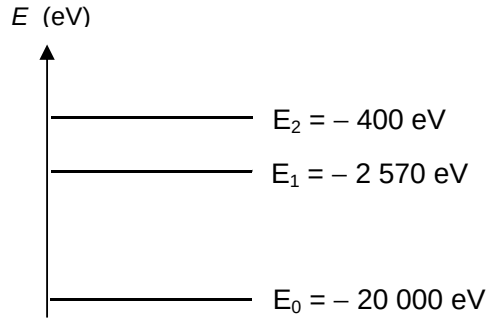
2. Émission de rayons X

Si l'électron libéré par le filament a une énergie suffisante lorsqu'il arrive sur la cible en molybdène, il peut exciter certains atomes de la cible en perturbant leurs couches électroniques internes. Ces atomes excités émettent des rayons X en revenant à leur état fondamental.

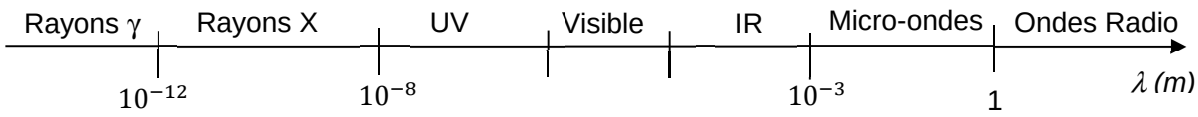
Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Données :

- constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- 1 eV = $1{,}602 \times 10^{-19}$ J ;
- diagramme simplifié des niveaux d'énergie du molybdène :



- spectre des ondes électromagnétiques (échelle non respectée) :



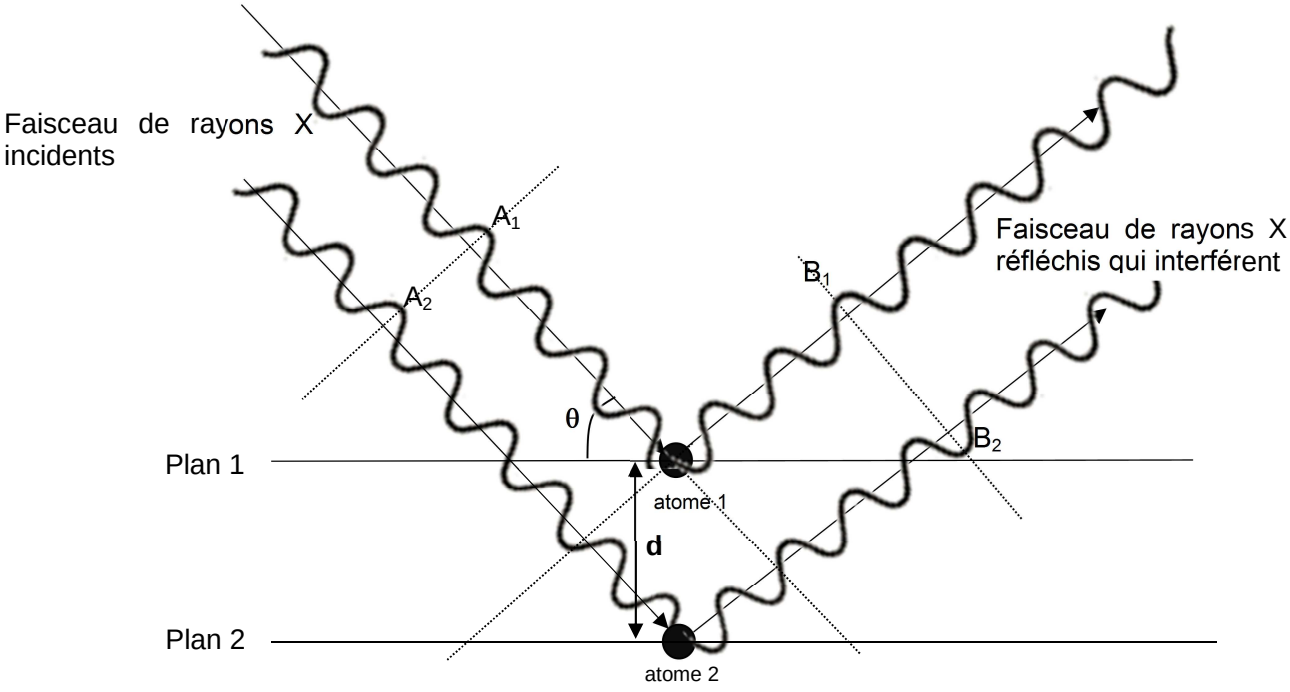
2.1 Reproduire sur votre copie le diagramme d'énergie du molybdène, et y représenter par des flèches toutes les transitions électroniques de l'atome pouvant s'accompagner de l'émission d'un rayonnement.

2.2. Déterminer le domaine des ondes émises correspondant à ces transitions.

3. Application à l'étude des structures cristallines

Les rayons X sont utilisés pour explorer la matière et par exemple pour évaluer la distance *d* entre deux plans 1 et 2 voisins d'atomes dans un cristal. Lorsqu'on envoie un faisceau de rayons X de longueur d'onde λ sur un cristal, ils sont réfléchis par les atomes qui constituent le cristal. Les ondes réfléchies par les atomes interfèrent.

On peut représenter de façon très simplifiée cette situation par le schéma suivant :



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 4 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

Données :

- la différence de parcours entre deux ondes incidentes qui se réfléchissent sur deux plans successifs est donnée par la relation : $\delta = 2\,d\,.\sin\theta$, où d est la distance entre deux atomes voisins et θ l'angle entre le rayon et le plan.
- dans le cas d'interférences constructives, la différence de parcours vaut : $\delta = k\,.\lambda$
- dans le cas d'interférences destructives, la différence de parcours vaut : : $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right).\,\lambda$

  où k est un nombre entier positif ou négatif et λ la longueur d'onde des ondes qui interfèrent.

3.1 En exploitant le schéma précédent, préciser :

- Si les deux rayons incidents interfèrent avec les états vibratoires représentés en A_1 et A_2, on obtient des interférences constructives ou destructives.
- Si les deux rayons réfléchis interfèrent avec les états vibratoires représentés en B_1 et B_2, on obtient des interférences constructives ou destructives.
- Pourquoi les interférences ne sont pas de même nature entre A_1/A_2 et B_1/B_2.

3.2 Pour un angle θ de 10,4° et une longueur d'onde de 0,154 nm, déterminer la valeur de d dans le cristal, dans le cas où l'on obtient des interférences constructives pour une différence de parcours minimale.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 5 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE II - AUTOUR DU STYRÈNE (9 points)

Le polystyrène et le polystyrène expansé sont des matériaux fréquemment utilisés dans le domaine de l'isolation et de l'emballage. Ces polymères sont synthétisés à partir d'une même molécule, le styrène. Le styrène est disponible auprès des fournisseurs spécialisés sous la forme d'un liquide commercialisé pur ou dilué dans un solvant spécifique.

Données :

- Produit commercial étudié et extrait de l'étiquette figurant sur la bouteille :



STYRENE

42% stabilisé



Danger

Nº CAS: 100-42-5 - Numéro CE: 202-851-5

Formule chimique: $C_6H_5CHCH_2$

Informations physico-chimiques

Masse molaire : 104.15 g/mol

Masse volumique : 0.906 g/cm^3 (20 °C)

Solubilité dans l'eau : 0.24 g/l (20 °C)

Point d'ébullition : 145 °C (1013 hPa)

Point éclair : 31 °C

Température d'inflammation : 480 °C

Point de fusion : -31 °C

5 014016 150821 >

1L

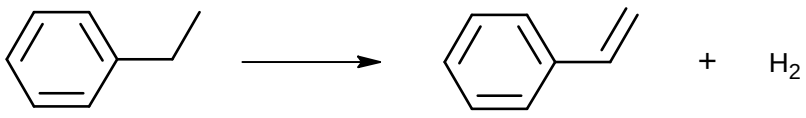
- Électronégativités (de Pauling) pour les atomes d'oxygène : 3,5 et d'hydrogène : 2,1 ;
- Température de fusion de l'éthylbenzène : – 95°C ; température d'ébullition de l'éthylbenzène : 136 °C ; température de fusion des oxydes de zinc : 1975 °C ;
- Produit ionique de l'eau à 25°C : Ke = 1,0x10 $^{-14}$.

1. Obtention industrielle du styrène

Le styrène fut célébré par Raymond QUENEAU dans un poème en alexandrins intitulé « *le chant du styrène* » dont un extrait est reproduit ci-dessous :

Le styrène est produit en grande quantité
À partir de l'éthylbenzène surchauffé.
Faut un catalyseur comme cela se nomme
Oxyde ou bien de zinc ou bien de magnésium.

La voie de synthèse du styrène, évoquée dans le poème, est la déshydrogénation de l'éthylbenzène, produit issu de la pétrochimie. Cette transformation peut être modélisée par la réaction d'équation suivante :



1.1. Cette réaction correspond-elle à une modification de chaîne ou à une modification de groupe caractéristique ?

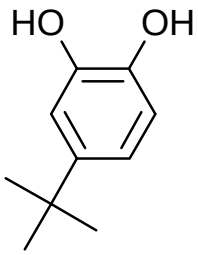
1.2. Parmi les trois grandes catégories de réactions en chimie organique, déterminer à quelle catégorie appartient cette réaction.

1.3. Le poème indique que cette transformation chimique nécessite l'emploi de catalyseurs. Définir un catalyseur.

1.4. Dans le cas de la synthèse du styrène, déterminer si la catalyse est homogène, hétérogène ou enzymatique.

2. Préparation du styrène avant utilisation au laboratoire

Le styrène, sensible à la lumière et aux températures élevées, peut se polymériser dans la bouteille en l'absence de précaution. Pour éviter cela, la solution de styrène est « stabilisée » par ajout d'un inhibiteur de polymérisation : le 4-tert-butylpyrocatéchol de formule topologique suivante :



Avant utilisation, il est donc nécessaire d'éliminer l'inhibiteur de polymérisation. Pour cela, le protocole suivant est mis en œuvre :

- Sous une hotte ventilée, dans une ampoule à décanter, verser 10 mL du produit commercial à purifier contenant le styrène et le 4-tert-butylpyrocatéchol.
- Ajouter 10 mL de solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$) de concentration molaire 1,0 $mol.L^{-1}$.
- Boucher, agiter l'ampoule, dégazer puis laisser décanter.
- Observer les changements de couleur des deux phases. Éliminer la phase aqueuse.
- Laver la phase organique recueillie avec 20 mL d'eau.
- Récupérer la phase aqueuse dans un bécher et mesurer son pH. Recommencer le lavage à l'eau jusqu'à obtention d'un pH proche de la neutralité.
- Placer le styrène extrait dans un erlenmeyer et ajouter une spatule de chlorure de calcium anhydre.
- Filtrer le mélange et récupérer le styrène purifié.

2.1. Réalisation du protocole

2.1.1. Les consignes de sécurité indiquées pour mettre en œuvre ce protocole vous paraissent-elles justifiées ?

2.1.2. Proposer d'autres précautions à prendre afin de manipuler en toute sécurité.

2.2. Identifier les groupes caractéristiques présents dans la molécule de 4-tert-butylpyrocatéchol.

2.3. Déterminer la polarisation de la liaison O-H. Justifier que l'on trouve dans les tables de données deux pK_A, respectivement 9 et 13, pour le 4-tert-butylpyrocatéchol.

2.4. Écrire les deux couples acide-base issus du diacide en notant H_2A le 4-tert-butylpyrocatéchol. Établir un diagramme de prédominance faisant intervenir les deux couples.

2.5. Estimer la valeur du pH de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour le lavage.

2.6. Écrire l'équation de réaction mise en jeu entre le 4-tert-butylpyrocatéchol noté H_2A et les ions hydroxyde HO^-, si les ions hydroxyde sont en large excès.

2.7. Expliquer pourquoi le lavage par la solution d'hydroxyde de sodium du produit commercial contenant le styrène permet d'éliminer le 4-tert-butylpyrocatéchol.

2.8. En schématisant l'ampoule à décanter, indiquer dans quelle phase se trouve le styrène et dans quelle phase se situe le 4-tert-butylpyrocatéchol.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

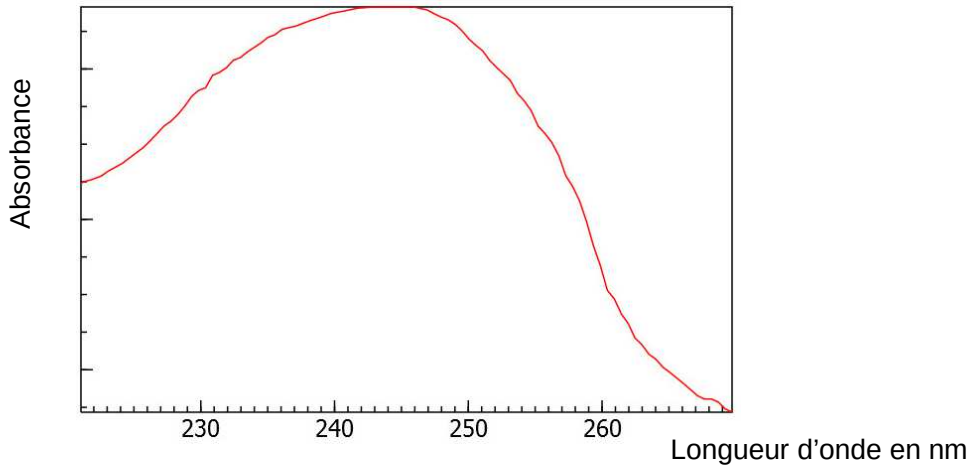
2.9. Expliquer le rôle des lavages supplémentaires à l'eau et du contrôle du pH.

2.10. Expliciter le rôle du chlorure de calcium anhydre.

3. Contrôle de la teneur en styrène dans le flacon commercial

Le produit commercial utilisé indique que le pourcentage massique de styrène est de 42 %. Toutefois, compte tenu des difficultés qui peuvent être rencontrées lors de la conservation du styrène, il est recommandé de déterminer sa concentration avant de l'utiliser. On réalise pour cela une mesure d'absorbance du styrène à l'aide d'un spectrophotométre UV-visible et on exploite cette mesure à l'aide d'un graphe fourni par le fabricant.

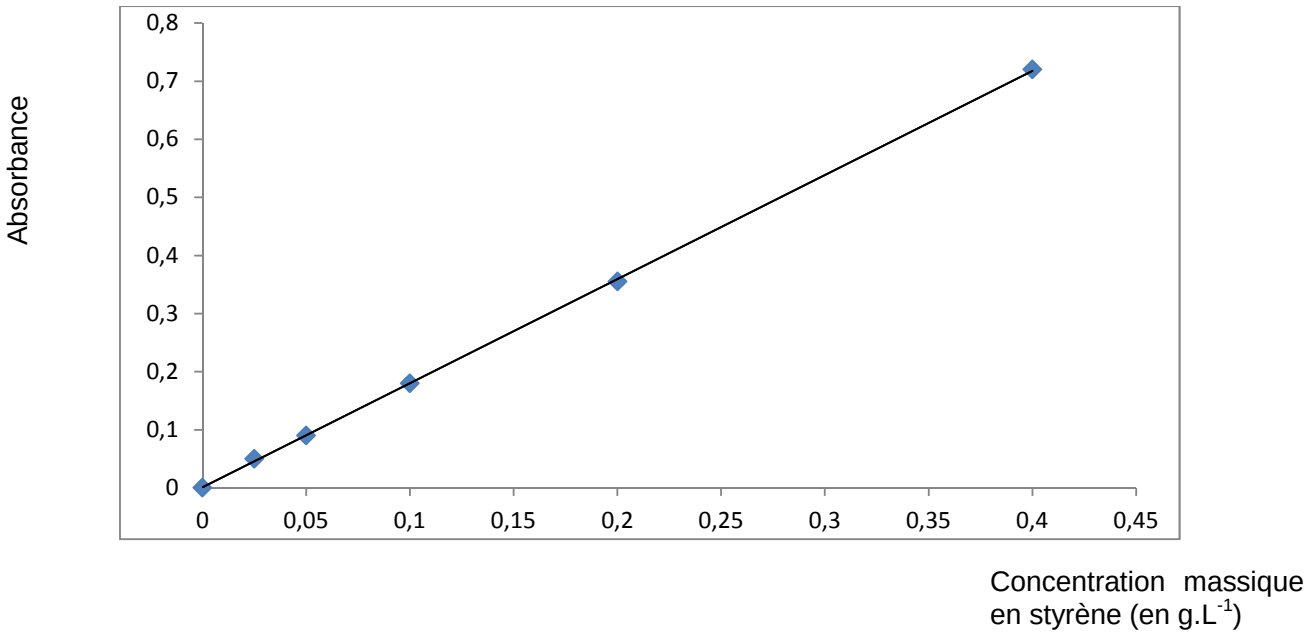
Spectre d'absorption du styrène :



3.1. À quelle longueur d'onde la mesure d'absorbance devra-t-elle être réalisée ? Dans quel domaine les ondes correspondantes appartiennent-elles ?

3.2. D'après le graphe suivant fourni par le fabricant, quelle relation peut-on écrire entre l'absorbance *A* de la solution et sa concentration *C* en styrène ? À quelle loi empirique cette relation fait-elle référence ?

Graphe fourni par le fabricant du produit étudié :



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 8 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

3.3. Proposer un protocole détaillé permettant d'obtenir précisément le graphe $A = f(C)$ fourni par le fabricant du produit.

3.4. On prélève alors une masse m = 10 mg de résine dans le flacon du produit commercial étudié. Puis, dans le même solvant que celui utilisé pour obtenir le graphe, on dissout ce prélèvement pour former une solution de volume 50,0 mL. La mesure de l'absorbance de l'échantillon obtenu conduit à une valeur de 0,15.

Déterminer si le styrène s'est bien conservé.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 9 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE III - LES CARACTÉRISTIQUES D'UN HOME-CINÉMA (5 points)

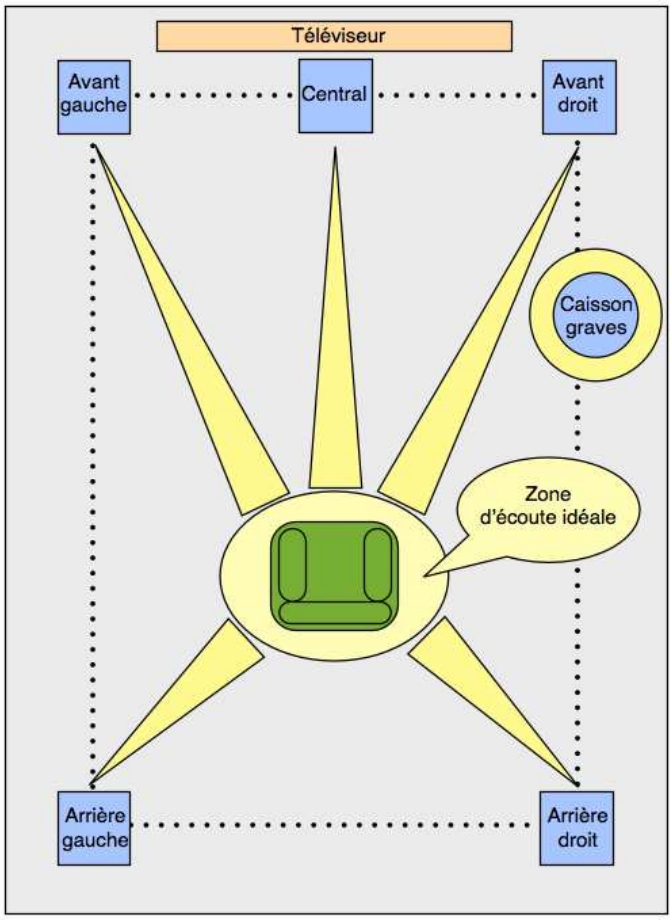
Depuis une vingtaine d'années, les systèmes home-cinéma sont de plus en plus utilisés à domicile. L'objectif est de reproduire le plus fidèlement possible l'image et le son du cinéma à la maison. Le choix pour le consommateur est parfois difficile, perdu au milieu de sigles et autres arguments commerciaux : HD, full HD, UHD, 4K, OLED, LCD, son 2.0, 5.1, TV connectée, etc... Dans cet exercice, on se propose d'étudier les principales caractéristiques d'un home-cinéma.

1. L'installation sonore

Les cinémas ont été les premiers à être équipés de sons multicanaux afin d'offrir une spatialisation des effets sonores (le son vient alors de toutes les directions).

Caractéristique d'une installation sonore 5.1

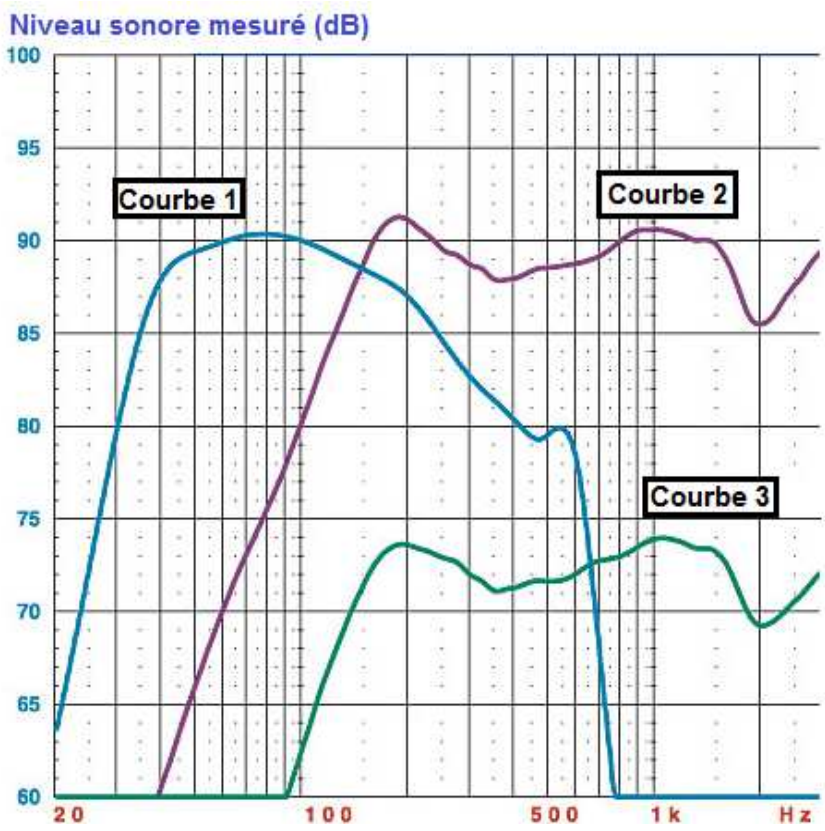
Un équipement 5.1 signifie que « 5 » haut-parleurs (enceintes) sont utilisés pour retranscrire les voix, les musiques et les effets sonores (alimentés par 5 signaux différents) et que « 1 » caisson de graves est utilisé pour retranscrire les sons très graves (explosions dans un film par exemple). Les enceintes sont disposées comme sur le schéma ci-dessous. Le caisson de graves (subwoofer) peut être placé n'importe où.



D'après http://www.bienchoisirmonelectromenager.com/

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 10 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

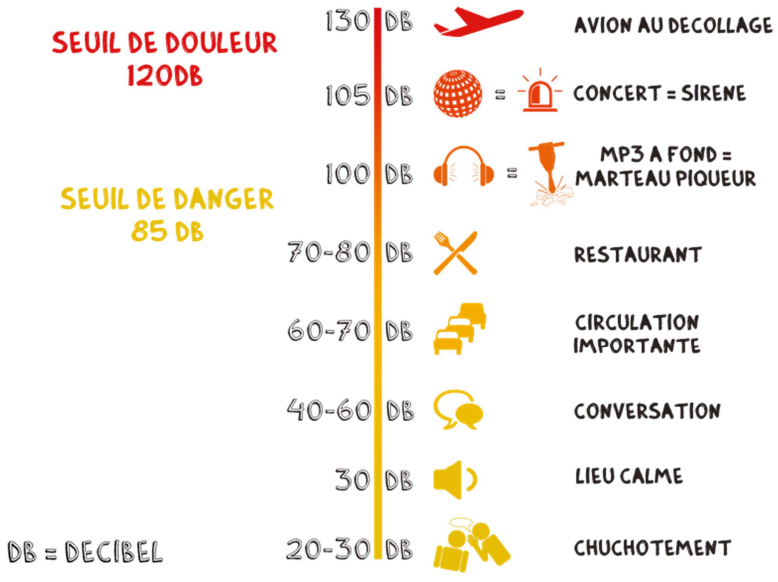
Niveaux sonores restitués par les enceintes avant, arrière et par le subwoofer



fréquence

D'après http://forumhardware.fr

Échelle des niveaux sonores



L'intensité sonore de référence pour le calcul d'un niveau sonore vaut : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W.m^{-2}.

D'après http://www.pass-santejeunes-bourgogne.org/

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 11 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

1.1. À quelle grandeur physique est liée la hauteur d'un son ?

1.2. Laquelle des trois courbes représentées dans les documents précédents correspond au caisson de graves ? Justifier.

1.3. Un technicien souhaite calibrer correctement une installation home-cinéma. Équipé d'un sonomètre, il se place sur le canapé. À l'aide de la télécommande, il déclenche un son sur l'enceinte centrale uniquement et règle son niveau sonore pour que le sonomètre indique 70 dB. Il répète l'opération pour chacune des quatre autres enceintes. L'installation est alors parfaitement équilibrée.

Pour finaliser ses réglages, il met en marche simultanément les cinq enceintes (le caisson de graves restant éteint). Le son produit présente-t-il un danger pour l'audition du technicien ?

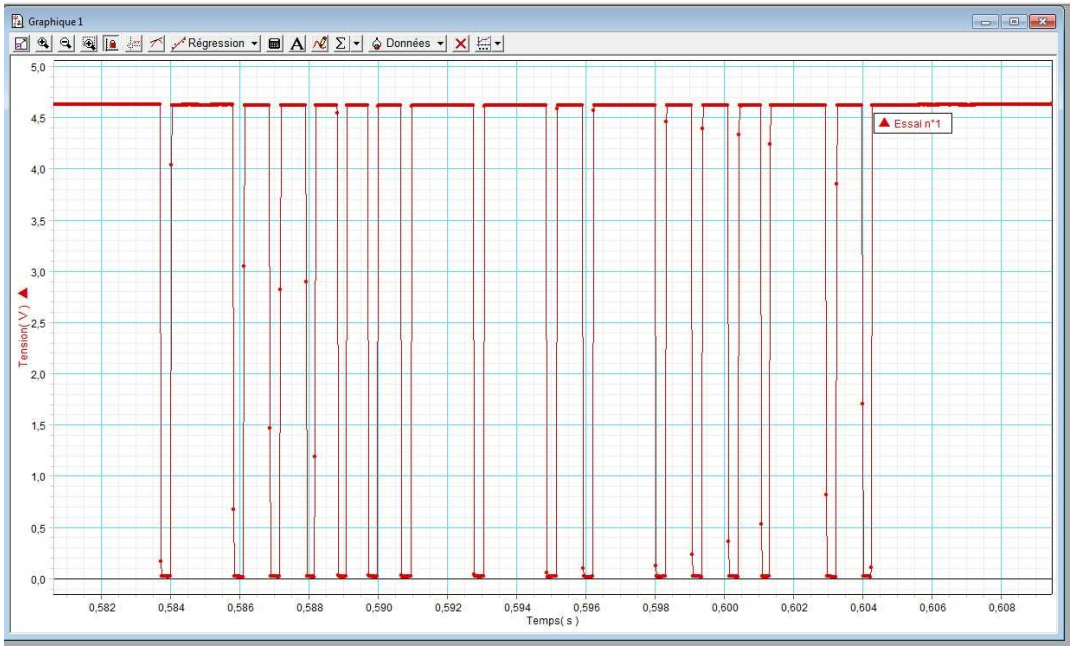
2. La télécommande

Pour piloter les différents appareils d'un home-cinéma, on utilise une ou plusieurs télécommandes équipées de diodes qui émettent des ondes électromagnétiques dans l'infrarouge.

Notice technique de la diode de la télécommande

Modèle LTE5228A		
	Angle d'ouverture	40°
	Tension	1,2 V
	Fréquence émise	$3{,}10 \times 10^{14}$ Hz
	Intensité lumineuse	5 mW/Sr
	Dimension de l'optique	5 mm

Signal émis par la télécommande



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 12 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Donnée : La valeur de la célérité de la lumière dans le vide est supposée être connue du candidat.

2.1. Définir ce qu'est une onde progressive.

2.2. Quelle est la principale différence entre une onde mécanique et une onde électromagnétique ?

2.3. Justifier, à l'aide des documents fournis, que le rayonnement émis par la télécommande correspond bien à un rayonnement infrarouge.

2.4. Le signal émis par la télécommande est-il de nature analogique ou numérique ? Justifier.

3. Définition de l'image

La taille moyenne des écrans de télévision n'a cessé de progresser. À la fin du XX^{ème} siècle, les plus grosses télévisions à tube cathodique avaient un écran mesurant 92 cm de diagonale. Depuis l'arrivée des écrans plats (à technologie plasma, LCD ou actuellement OLED), cette diagonale peut atteindre plusieurs mètres.

Caractéristiques d'un écran numérique

Les deux principales caractéristiques d'une télévision sont la taille et la définition de son écran.
Commercialement, on utilise la diagonale de l'écran (exprimée en cm ou en pouce) pour mesurer et comparer la taille des écrans de télévision.
Quant à la définition de l'écran, qui correspond au nombre total de pixels qui le composent, elle dépend des normes instaurées par les fabricants : SD, HD, Full HD et à présent Ultra HD (UHD) parfois appelé à tort « écran 4K » (la 4K étant une norme issue du cinéma). Chacune de ces normes correspond à un nombre bien déterminé de pixels sur la largeur et la hauteur de l'écran.

Normes des définitions d'écran

Normes commerciales	Nombre de pixels en largeur	Nombre de pixels en hauteur	Distance minimale du spectateur à l'écran
SD	720	576	4,5 × la diagonale
HD	1280	720	3,9 × la diagonale
Full HD	1920	1080	2,6 × la diagonale
UHD	3840	2160	1,3 × la diagonale

Le codage RVB

Le codage RVB consiste à représenter les couleurs à partir de trois couleurs de bases: le rouge, le vert et le bleu.
Chaque pixel est codé sur 3 octets, un par composante de couleur.

Données :

- 1 octet = 8 bits ;
- 1 pouce = 2,54 cm

Multiples de l'octet	1 ko	1 Mo	1 Go	1 To
Conversion en octet	10^3	10^6	10^9	10^{12}

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 13 / 14
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

3.1. Un client décide d'acheter une télévision de 65 pouces de diagonale et de placer son canapé à environ 2,50 m de la TV.

Si l'achat d'une TV UHD est retenu, les conditions d'utilisation recommandées par le constructeur sont-elles respectées ?

3.2. Si le téléspectateur s'approche de l'écran, quel défaut apparaitra sur l'image ?

3.3. Calculer la définition de l'écran de la TV UHD.

3.4. Calculer le nombre de couleurs différentes que peut générer un pixel de l'écran.

3.5. Vérifier que la taille d'une image au format UHD est d'environ 25 Mo.

3.6. Un film d'une durée de 1h 30 min est numérisé au format UHD. Il est composé de 25 images par seconde et le fichier audio attaché au film est de 10 Go.

Montrer que le fichier de ce film ne peut théoriquement pas tenir sur un seul Blu-Ray (double couche) de capacité totale 50 Go.

4. Téléchargement du film en streaming par internet

On peut visionner les films au format UHD en streaming (lecture d'un flux vidéo à mesure de sa diffusion, ne nécessitant pas le téléchargement). Ce service est directement accessible depuis les TV connectées à internet ou les appareils mobiles. Cependant pour « streamer » au format UHD il faut un débit minimum d'au moins 25 $Mbit.s^{-1}$ pour un visionnage confortable (sans saccades).

Débits moyens des différents modes de transmission de l'information

	Téléphonie mobile (propagation hertzienne)			Internet à domicile	
Modes	3G+	H+	4G	ADSL	Fibre optique
Débit ($Mbit.s^{-1}$)	3,6	5	40	20	100

La compression de données

La compression de données ou codage de source est l'opération informatique consistant à transformer une suite de bits A en une suite de bits B plus courte pouvant restituer les mêmes informations en utilisant un algorithme particulier.

4.1. Parmi les modes de transmission évoqués dans les documents à disposition, quels sont ceux qui mettent en œuvre une propagation guidée ?

4.2 Quel est le mode de transmission à privilégier si on souhaite « streamer » un film au format UHD sur un home-cinéma ? Argumenter votre réponse.

4.3. Montrer que les débits actuels ne permettent pas de regarder en streaming un film UHD de 3,385 To et d'une durée de 1h 30 min sans compression d'images.

4.4. Pourquoi est-il nécessaire de compresser les fichiers lors de leur transmission ?