Corrigé complet — Bac S 2016 Antilles-Guyane (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Les rayons X, outil d'investigation** Force électrique et champ uniforme · Théorème de l'énergie cinétique · Coefficient de Lorentz · Niveaux d'énergie et photon · Interférences constructives et destructives	6 pts	1 h	9 questions	p. 2
Ex 2	**Autour du styrène** Modification de chaîne et élimination · Catalyse · Couples acide-base et prédominance · Extraction liquide-liquide · Loi de Beer-Lambert et étalonnage	9 pts	1 h 30	19 questions	p. 7
Ex 3	**Les caractéristiques d'un home cinéma** Niveau d'intensité sonore · Ondes progressives et rayonnement infrarouge · Signal analogique ou numérique · Définition et taille d'une image numérique · Débit binaire et transmission de l'information	5 pts	50 min	17 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Eraole, l'avion du futur** Énergie et puissance · Rendement d'un panneau photovoltaïque · Éclairement solaire · Conversions d'unités · Regard critique sur un résultat · Résolution de problème	5 pts	50 min	1 questions	p. 18

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Les rayons X, outil d'investigation

Bac S 2016 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Donner l'expression vectorielle de la force électrique $\vec{F_e}$ subie par un électron. Comparer sa direction et son sens à ceux du champ $\vec{E}$.

Données utiles charge de l'électron : $q = -e$

Une particule de charge q placée dans un champ $\vec{E}$ subit la force $\vec{F_e} = q\,\vec{E}$. Pour l'électron, $q = -e$.

Le coefficient $-e$ est négatif : les deux vecteurs sont colinéaires et de sens contraires.

$\vec{F_e} = -e\,\vec{E}$: même direction que $\vec{E}$ (l'axe Ox), sens opposé (de O vers A).

COMPRENDRE
Sur la figure 1, $\vec{E}$ pointe vers la gauche. La force est donc dirigée vers la droite : l'électron, parti de O sans vitesse, est bien accéléré vers la cible.

1.2 Montrer que, pour $U = 100$ kV, le poids de l'électron est négligeable devant la force électrique.

Données utiles $U = 100\ \text{kV}$; $L = 2\ \text{cm}$; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{C}$; $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}$; $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$

Valeur de la force électrique : $F_e = e\,E = \dfrac{e\,U}{L}$

$$F_e = \frac{1{,}60 \times 10^{-19} \times 100 \times 10^{3}}{2 \times 10^{-2}} = 8 \times 10^{-13}\ \text{N}$$

Valeur du poids : $P = m_e\,g = 9{,}11 \times 10^{-31} \times 9{,}81 = 8{,}94 \times 10^{-30}\ \text{N}$

Rapport : $\dfrac{F_e}{P} = \dfrac{8 \times 10^{-13}}{8{,}94 \times 10^{-30}} \approx 9 \times 10^{16}$

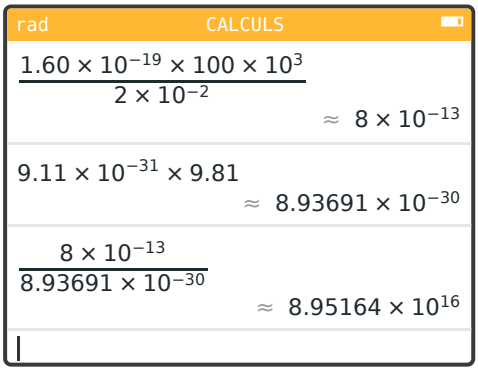
$F_e \approx 9 \times 10^{16}\,P$: le poids est tout à fait négligeable devant la force électrique.

PIÈGE
Laisser U en kilovolts ou L en centimètres. Il faut $U = 1{,}00 \times 10^{5}$ V et $L = 2 \times 10^{-2}$ m pour obtenir une force en newtons.

COMPRENDRE
L n'est donné qu'avec un seul chiffre significatif : F_e et le rapport n'en portent qu'un. Peu importe ici, seul l'ordre de grandeur du rapport sert à conclure.

MÉTHODE
« Négliger A devant B » se prouve par un rapport : calculer B/A et constater qu'il est très grand devant 1 (en pratique, supérieur à 100).

À LA CALCULATRICE



1.3 Montrer que la vitesse de l'électron à son arrivée au point A s'écrit $v_A = \sqrt{\dfrac{2\,e\,U}{m_e}}$.

Données utiles $v_O = 0$; $OA = L$; $E = \dfrac{U}{L}$; poids négligé (1.2)

Système {électron} ; référentiel du laboratoire supposé galiléen ; seule force prise en compte : $\vec{F}_e$, constante car le champ est uniforme.

Travail de $\vec{F}_e$ entre O et A (force et déplacement de même sens) :

$$W_{OA}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \overrightarrow{OA} = F_e \times L = e\,\frac{U}{L} \times L = e\,U$$

Théorème de l'énergie cinétique entre O et A :

$$\frac{1}{2}\,m_e\,v_A^2 - \frac{1}{2}\,m_e\,v_O^2 = W_{OA}(\vec{F}_e)$$

Comme $v_O = 0$: $\dfrac{1}{2}\,m_e\,v_A^2 = e\,U$, soit $v_A^2 = \dfrac{2\,e\,U}{m_e}$.

$v_A = \sqrt{\dfrac{2\,e\,U}{m_e}}$, qui est bien l'expression attendue.

COMPRENDRE
La distance L disparaît du résultat : la vitesse d'arrivée ne dépend que de la tension U. Le travail est moteur ($W > 0$), l'énergie cinétique augmente.

MÉTHODE
Autre voie : deuxième loi de Newton, $a_x = \dfrac{e\,E}{m_e}$, puis $v_x = a_x\,t$ et $x = \dfrac{1}{2}\,a_x\,t^2$. On tire t_A de $x = L$ et on reporte dans v_x. Plus long, même résultat.

1.4 Calculer la vitesse de l'électron à son arrivée au point A pour $U = 100$ kV.

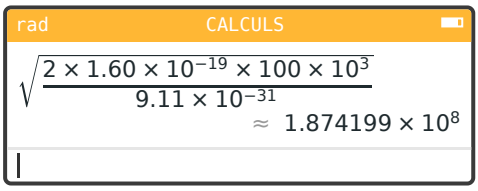
Données utiles $U = 100\ \text{kV}$; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{C}$; $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}$

$$v_A = \sqrt{\frac{2\,e\,U}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}60 \times 10^{-19} \times 100 \times 10^3}{9{,}11 \times 10^{-31}}}$$

$v_A = 1{,}87 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme e, m_e et U. Cette vitesse vaut environ 62 % de la célérité de la lumière : un tel résultat doit alerter sur la validité du modèle utilisé.

À LA CALCULATRICE



1.5 À l'aide du graphe du coefficient de Lorentz en fonction de la vitesse, dire si un modèle relativiste conviendrait mieux à l'étude du mouvement de l'électron. Justifier.

Données utiles $v_A = 1{,}87 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.4) ; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Sur le graphe, pour $v = 1{,}87 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, on lit $\gamma \approx 1{,}3$.

Vérification par le calcul : $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v_A^2}{c^2}}} = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \left(\dfrac{1{,}87 \times 10^8}{3{,}00 \times 10^8}\right)^2}} =$

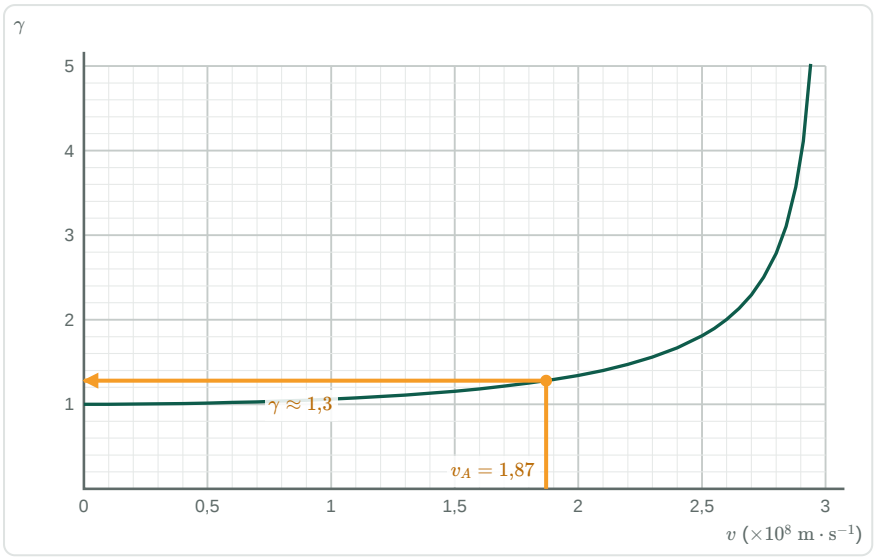
$1{,}28$

Le modèle classique n'est acceptable que si γ reste très proche de 1. Ici γ s'en écarte de près de 30 % : les effets relativistes ne sont pas négligeables.

Oui : avec $\gamma \approx 1{,}3$, nettement supérieur à 1, un modèle relativiste conviendrait mieux.

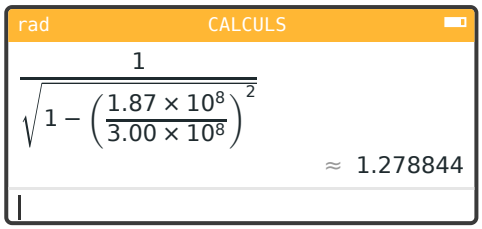
COMPRENDRE
La dilatation des durées et le coefficient de Lorentz figuraient au programme de Terminale S. Ils ne sont plus au programme actuel de spécialité : ici, la formule de γ est de toute façon fournie.

COMPRENDRE
La valeur de 1.4, obtenue avec la mécanique classique, est donc surestimée. Le sujet ne demandait qu'un ordre de grandeur de la vitesse.



1.5 · Courbe du sujet (limitée à $\gamma \leqslant 5$) et lecture pour v_A

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles $E_0 = -20\,000$ eV ; $E_1 = -2\,570$ eV ; $E_2 = -400$ eV

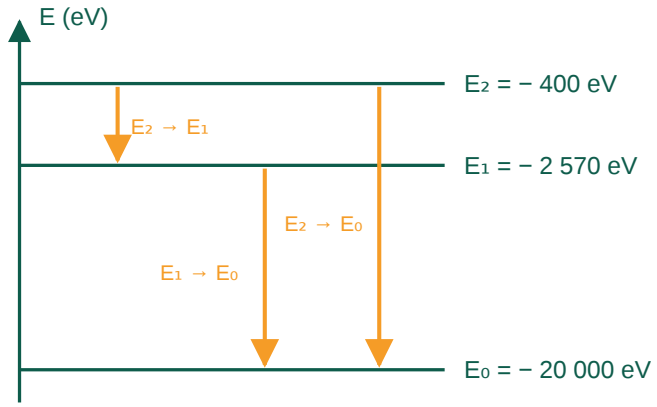
Un atome émet un photon lorsqu'il passe d'un niveau d'énergie à un niveau d'énergie plus faible. La flèche part du niveau supérieur et pointe vers le niveau inférieur.

Avec trois niveaux, trois transitions sont possibles (voir le diagramme).

Trois flèches vers le bas : $E_2 \to E_1$, $E_1 \to E_0$ et $E_2 \to E_0$.

PIÈGE

Tracer des flèches vers le haut : elles représentent une absorption, pas une émission. Oublier la transition directe $E_2 \to E_0$ coûte aussi des points, le sujet demande « toutes » les transitions.



2.1 · Les trois transitions qui s'accompagnent d'une émission (flèches vers le bas)

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

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}602 \times 10^{-19}$ J ; rayons X : 10^{-12} m $< \lambda < 10^{-8}$ m

Le photon émis emporte l'énergie perdue par l'atome : $\Delta E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$,

donc $\lambda = \dfrac{h\,c}{\Delta E}$ avec ΔE en joules.

- $E_2 \to E_0$: $\Delta E = -400 - (-20\,000) = 19\,600$ eV ; $\lambda = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{19\,600 \times 1{,}602 \times 10^{-19}} = 6{,}33 \times 10^{-11}$ m
- $E_1 \to E_0$: $\Delta E = -2\,570 - (-20\,000) = 17\,430$ eV ; $\lambda = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{17\,430 \times 1{,}602 \times 10^{-19}} = 7{,}12 \times 10^{-11}$ m
- $E_2 \to E_1$: $\Delta E = -400 - (-2\,570) = 2\,170$ eV ; $\lambda = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{2\,170 \times 1{,}602 \times 10^{-19}} = 5{,}72 \times 10^{-10}$ m

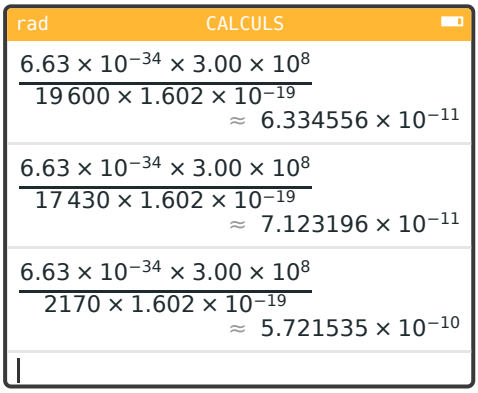
Les trois longueurs d'onde sont comprises entre 10^{-12} m et 10^{-8} m.

Les trois rayonnements émis appartiennent au domaine des rayons X.

PIÈGE
Laisser ΔE en électronvolts dans la formule : la longueur d'onde obtenue est alors fausse d'un facteur 10^{19}. Convertir d'abord en joules.

MÉTHODE
Pour gagner du temps : la plus grande et la plus petite des énergies donnent les deux longueurs d'onde extrêmes. Si elles sont dans le même domaine, la troisième y est aussi.

À LA CALCULATRICE



3.1 À partir du schéma, préciser la nature des interférences pour les états vibratoires en A₁ et A₂, puis en B₁ et B₂, et expliquer pourquoi elle diffère.

- En A₁ et A₂, les deux ondes incidentes sont dans le même état vibratoire (deux maxima sur la même ligne) : elles sont en phase. Leur superposition donnerait des interférences **constructives**.
- En B₁ et B₂, un maximum de l'une fait face à un minimum de l'autre : les deux ondes réfléchies sont en opposition de phase. Leur superposition donne des interférences **destructives**.
- Entre A et B, les deux ondes n'ont pas parcouru la même distance : celle qui se réfléchit sur le plan 2 parcourt en plus $\delta = 2\,d\,\sin\theta$.
  Dans la situation du schéma, $\delta = \left(k + \dfrac{1}{2}\right)\lambda$: ce parcours supplémentaire décale les ondes d'une demi-période.

A₁/A₂ : constructives ; B₁/B₂ : destructives ; la différence de parcours $\delta = 2\,d\,\sin\theta$ a déphasé l'onde réfléchie par le plan 2.

COMPRENDRE
En phase, les amplitudes s'ajoutent et l'onde résultante est renforcée. En opposition de phase, elles se compensent : pour deux ondes de même amplitude, l'onde résultante est nulle.

MÉTHODE
Sur un schéma d'ondes, comparer les états vibratoires le long d'une perpendiculaire aux rayons : crête face à crête, ondes en phase ; crête face à creux, opposition de phase.

3.2 Pour $\theta = 10{,}4^\circ$ et $\lambda = 0{,}154$ nm, déterminer la valeur de d dans le cas d'interférences constructives pour une différence de parcours minimale.

Données utiles $\delta = 2\,d\,\sin\theta$; interférences constructives : $\delta = k\,\lambda$; $\lambda = 0{,}154\ \text{nm} = 0{,}154 \times 10^{-9}\ \text{m}$

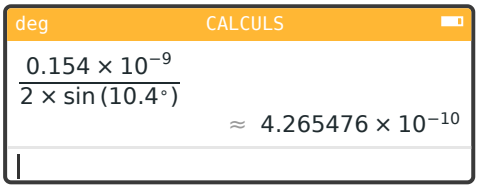
Interférences constructives : $\delta = k\,\lambda$. La différence de parcours n'est pas nulle (car $d \neq 0$ et $\theta \neq 0$) : sa plus petite valeur correspond à $k = 1$, soit $\delta = \lambda$.

Donc $2\,d\,\sin\theta = \lambda$, d'où $d = \dfrac{\lambda}{2\,\sin\theta}$

$$d = \frac{0{,}154 \times 10^{-9}}{2 \times \sin(10{,}4^\circ)} = 4{,}27 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

$d = 4{,}27 \times 10^{-10}$ m, soit 0,427 nm

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Calculatrice réglée en radians : $\sin(10{,}4)$ est alors négatif et la distance trouvée aussi. Vérifier le mode degrés. Autre erreur : prendre $k = 0$, qui donnerait $d = 0$.

COMPRENDRE

Quelques dixièmes de nanomètre : c'est l'ordre de grandeur de la distance entre atomes voisins dans un solide. Les rayons X, de longueur d'onde comparable, sont donc adaptés à l'étude des cristaux.

Autour du styrène

Bac S 2016 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 La déshydrogénation de l'éthylbenzène en styrène est-elle une modification de chaîne ou une modification de groupe caractéristique ?

Ni le réactif ni le produit ne portent de groupe caractéristique : seule la chaîne latérale change. La liaison simple $C-C$ du groupe éthyle devient une liaison double $C=C$.

C'est une **modification de chaîne** : la chaîne carbonée latérale, saturée, devient insaturée.

COMPRENDRE
Le nombre d'atomes de carbone ne change pas (8 de chaque côté). Modifier une chaîne, ce n'est pas seulement l'allonger ou la raccourcir : créer une insaturation en fait partie.

1.2 À quelle grande catégorie de réactions de la chimie organique cette réaction appartient-elle ?

Un seul réactif donne deux produits : deux atomes d'hydrogène portés par deux atomes de carbone voisins sont retirés, sans être remplacés, et une liaison double $C=C$ se forme.

C'est une réaction d'**élimination**.

MÉTHODE
Addition : deux réactifs, un produit, une liaison multiple disparaît. Élimination : l'inverse. Substitution : un atome ou un groupe en remplace un autre.

1.3 Définir un catalyseur.

Un catalyseur est une espèce chimique qui **accélère** une transformation (il en diminue la durée) **sans être consommée** : elle n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

PIÈGE
Oublier l'une des deux idées. Dire seulement « il accélère la réaction » ne suffit pas : il faut ajouter qu'on le retrouve intact à la fin.

1.4 Pour la synthèse du styrène, la catalyse est-elle homogène, hétérogène ou enzymatique ?

Données utiles éthylbenzène : $\theta_{éb} = 136\ ^\circ C$; oxyde de zinc : $\theta_{fus} = 1975\ ^\circ C$

L'éthylbenzène est « surchauffé » : porté au-delà de 136 °C, il est à l'état gazeux. Le catalyseur, un oxyde de zinc ou de magnésium, ne fond qu'à 1975 °C : il reste solide.

Réactif gazeux et catalyseur solide ne sont pas dans la même phase : la catalyse est **hétérogène**.

COMPRENDRE
Homogène : catalyseur et réactifs dans la même phase. Enzymatique : le catalyseur est une protéine. Le programme actuel de spécialité ne demande plus de classer les catalyses, mais la définition du catalyseur reste exigible.

2.1.1 Les consignes de sécurité indiquées dans le protocole paraissent-elles justifiées ?

L'étiquette porte trois pictogrammes : danger grave pour la santé, nocif ou irritant, inflammable. Le styrène est de plus volatil (point éclair de 31 °C).

Oui : travailler **sous hotte ventilée** évite de respirer les vapeurs nocives et empêche leur accumulation dans la salle. Le dégazage de l'ampoule évite une surpression.

2.1.2 Proposer d'autres précautions pour manipuler en toute sécurité.

- Porter une blouse, des lunettes et des gants : le styrène est nocif et la solution d'hydroxyde de sodium à $1{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ est corrosive.
- Éloigner toute flamme et toute source de chaleur : le styrène est inflammable.
- Dégazer en dirigeant l'ampoule vers le fond de la hotte, loin du visage.

Blouse, lunettes, gants ; aucune flamme ni source de chaleur à proximité.

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

Sur la formule topologique, on repère deux fois l'enchaînement $\text{C}-\text{O}-\text{H}$.

La molécule porte **deux groupes hydroxyle** $-\text{OH}$, fixés sur deux atomes de carbone voisins du cycle.

COMPRENDRE
Le groupe tert-butyle $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ appartient à la chaîne carbonée : ce n'est pas un groupe caractéristique.

2.3 Déterminer la polarisation de la liaison O-H. Justifier l'existence de deux $\text{p}K_A$ (9 et 13) pour le 4-tert-butylpyrocatéchol.

Données utiles électronégativités : $\chi(\text{O}) = 3{,}5$; $\chi(\text{H}) = 2{,}1$

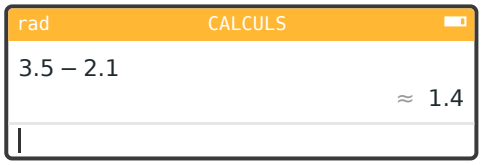
L'oxygène est plus électronégatif que l'hydrogène ($3{,}5 > 2{,}1$, écart de $1{,}4$) : il attire vers lui le doublet de la liaison. La liaison est polarisée : O porte une charge partielle δ^- et H une charge partielle δ^+.

Cet atome d'hydrogène peut donc se détacher sous forme d'ion H^+ : chaque groupe $-\text{OH}$ est un site acide au sens de Brönsted.

La molécule possède deux groupes $-\text{OH}$: elle peut céder successivement **deux ions** H^+. C'est un diacide, d'où deux couples et deux $\text{p}K_A$.

COMPRENDRE
Le second $\text{p}K_A$ est plus grand : arracher un ion H^+ à une espèce déjà chargée négativement est plus difficile.

À LA CALCULATRICE



2.4 Écrire les deux couples acide-base issus du diacide noté H_2A. Établir un diagramme de prédominance faisant intervenir les deux couples.

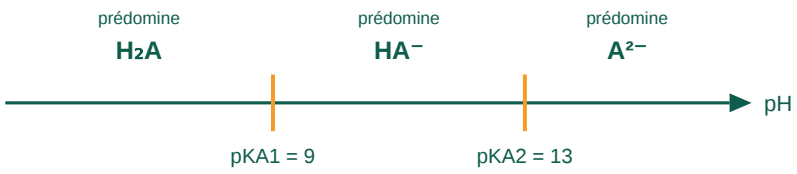
Données utiles $\text{p}K_{A1} = 9$; $\text{p}K_{A2} = 13$

Premier couple : H_2A / HA^-, de $\text{p}K_{A1} = 9$.

Second couple : HA^- / A^{2-}, de $\text{p}K_{A2} = 13$.

H_2A prédomine pour $\text{pH} < 9$, HA^- pour $9 < \text{pH} < 13$ et A^{2-} pour $\text{pH} > 13$.

MÉTHODE
Sur un axe de pH, placer les $\text{p}K_A$ dans l'ordre croissant. L'espèce la plus riche en hydrogène est à gauche (milieu acide) ; chaque $\text{p}K_A$ franchi vers la droite lui retire un H^+.



2.4 · Diagramme de prédominance du 4-tert-butylpyrocatéchol

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

Données utiles $c = 1{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$ à 25 °C

L'hydroxyde de sodium est entièrement dissocié dans l'eau : $[\text{HO}^-] = c = 1{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

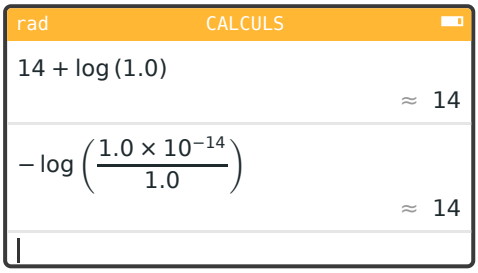
Or $K_e = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{HO}^-]$, donc $[\text{H}_3\text{O}^+] = \dfrac{K_e}{[\text{HO}^-]}$ et

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = \text{p}K_e + \log c = 14{,}0 + \log(1{,}0)$$

$\text{pH} \approx 14$: la solution est très basique.

PIÈGE
Écrire $\text{pH} = -\log c$, qui donnerait $\text{pH} = 0$: cette relation vaut pour un acide fort. Pour une base forte, il faut passer par K_e.

À LA CALCULATRICE



2.6 Écrire l'équation de la réaction entre H_2A et les ions hydroxyde HO^-, ceux-ci étant en large excès.

Données utiles $\text{pH} \approx 14$ (2.5) ; $\text{p}K_{A2} = 13$

Les ions HO^- en large excès arrachent successivement les deux ions H^+ du diacide : $\text{H}_2\text{A} + \text{HO}^- \longrightarrow \text{HA}^- + \text{H}_2\text{O}$ puis $\text{HA}^- + \text{HO}^- \longrightarrow \text{A}^{2-} + \text{H}_2\text{O}$.

Le pH reste proche de 14, supérieur à $\text{p}K_{A2}$: l'espèce finale est bien A^{2-}.

$$\text{H}_2\text{A} + 2\,\text{HO}^- \longrightarrow \text{A}^{2-} + 2\,\text{H}_2\text{O}$$

PIÈGE
S'arrêter à HA^-. « Large excès » signifie que le milieu reste très basique : c'est le diagramme de prédominance à $\text{pH} \approx 14$ qui désigne l'espèce finale.

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

Dans le produit commercial, l'inhibiteur est sous forme moléculaire H_2A, dissous dans la phase organique. Au contact de la solution basique, il est transformé en ions A^{2-} (2.6).

Une espèce ionique est très soluble dans l'eau, solvant polaire, et très peu dans une phase organique.

Les ions A^{2-} passent dans la **phase aqueuse**, que l'on élimine ; le styrène, presque insoluble dans l'eau ($0{,}24\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), reste dans la phase organique.

COMPRENDRE
C'est une extraction liquide-liquide appuyée sur une réaction acide-base : on change la forme de l'espèce à retirer pour changer le solvant qu'elle préfère. Le changement de couleur des phases signale ce passage.

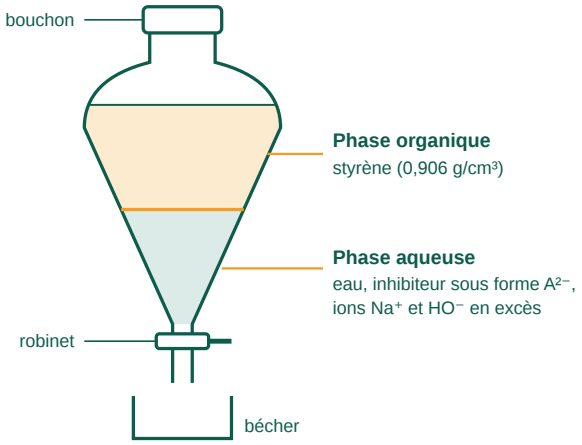
2.8 En schématisant l'ampoule à décanter, indiquer dans quelle phase se trouve le styrène et dans quelle phase se situe le 4-tert-butylpyrocatéchol.

Données utiles styrène : $\rho = 0{,}906\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, solubilité dans l'eau $0{,}24\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

Le styrène est presque insoluble dans l'eau : il y a deux phases. Sa masse volumique ($0{,}906\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) est inférieure à celle de la solution aqueuse (environ $1{,}0\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) : la phase organique surnage.

Phase supérieure, organique : le styrène. **Phase inférieure**, aqueuse : l'inhibiteur, sous forme d'ions A^{2-}, avec les ions Na^+ et HO^- en excès.

PIÈGE
Placer la phase organique en bas par habitude. C'est la comparaison des masses volumiques qui décide, et elle doit figurer sur la copie.



2.8 · Ampoule à décanter après décantation

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

Après le premier lavage, la phase organique retient encore des traces de solution basique : ions HO^-, Na^+ et A^{2-}. Les lavages à l'eau entraînent ces ions, bien plus solubles dans l'eau que dans le styrène.

Tant que l'eau de lavage a un pH nettement supérieur à 7, il reste des ions HO^- : on recommence. Un **pH proche de 7** indique que la phase organique en est débarrassée.

2.10 Expliciter le rôle du chlorure de calcium anhydre.

Après les lavages, le styrène contient encore un peu d'eau.

Le chlorure de calcium anhydre est un **desséchant** : ce solide capte les traces d'eau de la phase organique. La filtration qui suit le retire, et l'on recueille le styrène sec.

COMPRENDRE
« Anhydre » signifie « sans eau » : le solide peut donc en fixer. Séchage sur un solide anhydre puis filtration terminent presque toujours le traitement d'une phase organique.

3.1 À quelle longueur d'onde la mesure d'absorbance doit-elle être réalisée ? À quel domaine ces ondes appartiennent-elles ?

On se place au maximum d'absorption du styrène : l'absorbance y est la plus grande, donc la mesure la plus précise. Le spectre présente son maximum vers 245 nm.

$\lambda \approx 245\ \text{nm}$, inférieure à 400 nm : ces ondes appartiennent au domaine **ultraviolet**.

COMPRENDRE
Le styrène n'absorbe pas dans le visible (400 à 800 nm) : il est incolore. Le dosage par étalonnage reste possible, à condition d'utiliser un spectrophotomètre qui descend dans l'ultraviolet.

3.2 D'après le graphe du fabricant, quelle relation peut-on écrire entre l'absorbance A et la concentration C en styrène ? À quelle loi cette relation fait-elle référence ?

Le graphe est une droite passant par l'origine : l'absorbance est proportionnelle à la concentration massique en styrène.

$A = k \times C$, avec k le coefficient directeur de la droite : c'est la **loi de Beer-Lambert**.

COMPRENDRE
Le graphe porte une concentration massique en $\mathrm{g \cdot L^{-1}}$: k s'exprime alors en $\mathrm{L \cdot g^{-1}}$. La loi s'écrit aussi bien avec une concentration en masse qu'avec une concentration en quantité de matière.

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

- Préparer une solution mère de styrène à $0{,}40\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$: peser 40 mg de styrène pur, les dissoudre dans le solvant dans une fiole jaugée de 100,0 mL, compléter jusqu'au trait de jauge, homogénéiser.
- Préparer les solutions filles à $0{,}20$, $0{,}10$, $0{,}050$ et $0{,}025\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$ par dilutions successives au demi : 25,0 mL de la solution précédente (pipette jaugée) dans une fiole jaugée de 50,0 mL, compléter avec le solvant.
- Régler le spectrophotomètre sur 245 nm et faire le blanc avec une cuve de solvant.
- Mesurer l'absorbance de chaque solution, de la moins concentrée à la plus concentrée, en rinçant la cuve avec la solution à mesurer.
- Tracer A en fonction de C et modéliser par une droite passant par l'origine.

Gamme de cinq solutions étalons (de $0{,}025$ à $0{,}40\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$), blanc sur le solvant, mesures à 245 nm, tracé de $A = f(C)$.

PIÈGE
Diluer avec de l'eau : le styrène y est presque insoluble. Tout se fait dans le solvant du fabricant, qui sert aussi au blanc.

COMPRENDRE
« Précisément » appelle de la verrerie jaugée (fioles, pipettes) et non graduée. Les cinq concentrations sont celles des points du graphe ; le sixième point, l'origine, correspond au blanc.

3.4 On dissout 10 mg de produit commercial dans 50,0 mL de solvant ; l'absorbance mesurée vaut 0,15. Déterminer si le styrène s'est bien conservé.

Données utiles $m = 10$ mg ; $V = 50{,}0$ mL ; $A = 0{,}15$; pourcentage massique annoncé : 42 % ; droite d'étalonnage passant par le point $(0{,}40\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}\ ;\ 0{,}72)$

Coefficient directeur de la droite d'étalonnage : $k = \dfrac{0{,}72}{0{,}40} = 1{,}8\ \text{L}\cdot\text{g}^{-1}$.

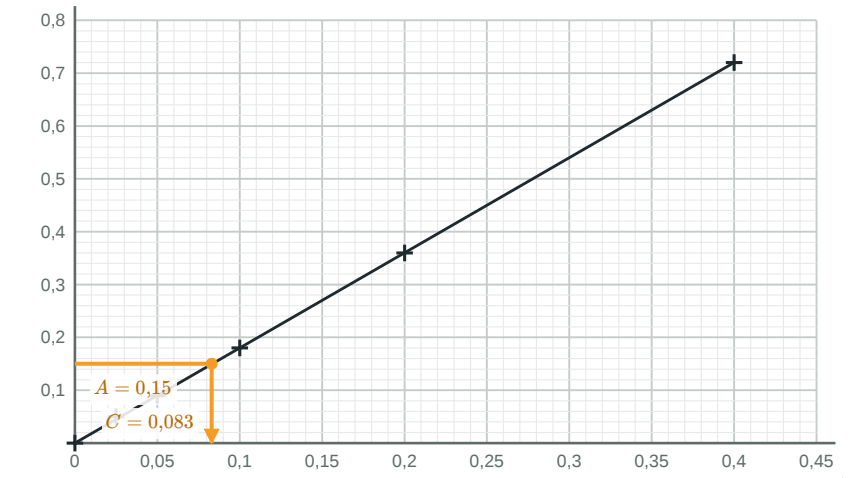
Concentration massique en styrène de la solution préparée :

$$C = \frac{A}{k} = \frac{0{,}15}{1{,}8} = 0{,}083\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$$

Masse de styrène dans le prélèvement : $m_{\text{sty}} = C \times V = 0{,}083 \times 50{,}0 \times 10^{-3} = 4{,}2 \times 10^{-3}$ g.

Pourcentage massique : $\dfrac{m_{\text{sty}}}{m} = \dfrac{4{,}2 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 0{,}42$.

Le produit contient 42 % de styrène en masse, comme l'indique l'étiquette : le styrène s'est **bien conservé**.



3.4 · Graphe du fabricant, avec la lecture pour $A = 0{,}15$

PIÈGE
Diviser la masse totale prélevée par le volume et la comparer à C : les 10 mg sont du produit commercial, dont le styrène ne représente qu'une partie.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m, A et le pourcentage annoncé. Les calculs intermédiaires se font sans arrondir : $41{,}7$ %, soit 42 %.

MÉTHODE
Autre voie : calculer la concentration attendue si le produit est intact, $0{,}42 \times m/V = 0{,}084\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, puis la comparer à la valeur mesurée. L'écart est d'environ 1 %.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{0.72}{0.40} \approx 1.8$

$\dfrac{0.15}{1.8} \approx 0.08333333$

$\dfrac{0.15}{1.8} \times 50.0 \times 10^{-3} \approx 0.004166667$

$\dfrac{\frac{0.15}{1.8} \times 50.0 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} \approx 0.4166667$

Les caractéristiques d'un home cinéma

Bac S 2016 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

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

La hauteur d'un son est liée à sa **fréquence** (celle du fondamental), en hertz : plus la fréquence est grande, plus le son est aigu.

PIÈGE
Ne pas confondre la hauteur (fréquence du fondamental) avec le timbre (forme du signal, harmoniques) ni avec le niveau sonore (amplitude).

1.2 Laquelle des trois courbes de niveau sonore correspond au caisson de graves ? Justifier.

Un caisson de graves restitue les sons très graves, donc de basse fréquence.

La courbe 1 est la seule à présenter un niveau sonore élevé (près de 90 dB) dès 40 Hz environ ; elle s'effondre ensuite et ne restitue plus rien au-delà de 700 Hz environ. Les courbes 2 et 3 ne démarrent que vers 40 Hz et 90 Hz et restent élevées jusqu'aux aigus.

Le caisson de graves correspond à la **courbe 1**.

MÉTHODE
L'axe des fréquences est logarithmique : entre 20 et 100 Hz, les graduations verticales marquent 30, 40, 50… Hz. On repère d'abord les décades (20, 100, 1 k) avant de lire.

1.3 Chaque enceinte seule donne 70 dB au niveau du canapé. Les cinq enceintes fonctionnant ensemble, le son présente-t-il un danger pour l'audition du technicien ?

Données utiles $L_1 = 70$ dB par enceinte ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; seuil de danger : 85 dB

Ce sont les intensités sonores qui s'ajoutent, pas les niveaux.

Pour une enceinte : $L_1 = 10 \log \dfrac{I_1}{I_0}$, donc $I_1 = I_0 \times 10^{L_1/10}$

$I_1 = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{7{,}0} = 1{,}0 \times 10^{-5}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

Pour les cinq enceintes : $I = 5\, I_1 = 5{,}0 \times 10^{-5}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, d'où

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{5{,}0 \times 10^{-5}}{1{,}0 \times 10^{-12}} = 77\ \text{dB}$$

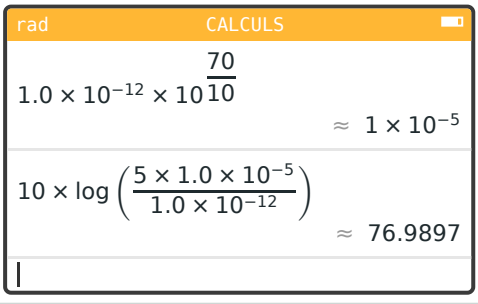
$L = 77\ \text{dB} < 85\ \text{dB}$: le niveau reste sous le seuil de danger, le son ne présente **pas de danger** pour l'audition.

PIÈGE
Additionner les niveaux : $5 \times 70 = 350$ dB n'a aucun sens. Multiplier l'intensité par 5 ajoute seulement $10 \log 5 \approx 7$ dB.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme I_0 et le niveau de 70 dB lu au sonomètre : on écrit 77 dB et non 76,99 dB.

MÉTHODE
Raccourci utile : $L = 10 \log \dfrac{5\, I_1}{I_0} = L_1 + 10 \log 5$.
Le calcul de I_1 devient inutile.

À LA CALCULATRICE



2.1 Définir ce qu'est une onde progressive.

Une onde progressive est la propagation d'une perturbation de proche en proche, **sans transport de matière** mais **avec transport d'énergie**.

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

Une onde mécanique a besoin d'un **milieu matériel** pour se propager ; une onde électromagnétique peut aussi se propager **dans le vide**.

COMPRENDRE
Le son de l'enceinte est une onde mécanique (il lui faut l'air), le signal de la télécommande une onde électromagnétique, comme la lumière.

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

Données utiles fréquence émise $\nu = 3{,}10 \times 10^{14}$ Hz ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (à connaître)

Longueur d'onde dans le vide du rayonnement : $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$

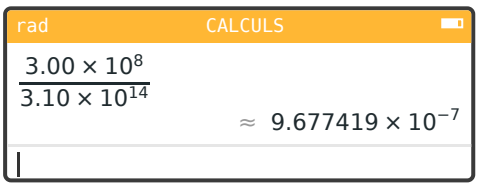
$$\lambda = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{3{,}10 \times 10^{14}} = 9{,}68 \times 10^{-7}\ \text{m} = 968\ \text{nm}$$

Le domaine visible s'étend de 400 nm (violet) à 800 nm (rouge).

$\lambda = 968\ \text{nm} > 800\ \text{nm}$: le rayonnement est situé au-delà du rouge, c'est bien un **infrarouge**.

PIÈGE
La lettre grecque ν désigne la fréquence, pas une vitesse. Les limites du visible (400 nm et 800 nm) ne sont pas dans le sujet : il faut les connaître.

À LA CALCULATRICE



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

Sur l'enregistrement, la tension ne prend que deux valeurs : environ 0 V et environ 4,6 V, avec des passages brusques de l'une à l'autre.

Le signal ne prend qu'un nombre fini de valeurs (deux niveaux) : il est **numérique**.

COMPRENDRE
Un signal analogique varie de façon continue et peut prendre toutes les valeurs d'un intervalle. Cette distinction, au programme du Bac S, ne figure plus dans le programme actuel de spécialité.

3.1 Une télévision UHD de 65 pouces est regardée depuis un canapé placé à environ 2,50 m. Les conditions d'utilisation recommandées par le constructeur sont-elles respectées ?

Données utiles norme UHD : distance minimale $= 1{,}3\times$ la diagonale ; 1 pouce $= 2{,}54$ cm

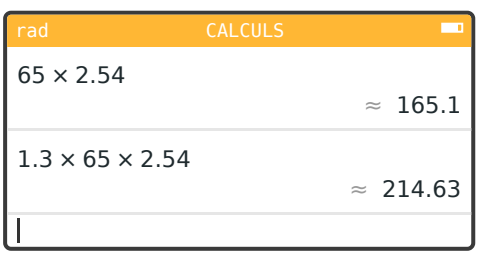
Diagonale de l'écran : $65 \times 2{,}54 = 165$ cm.

Distance minimale recommandée : $d_{\text{min}} = 1{,}3 \times 165 = 2{,}1 \times 10^{2}\ \text{cm} = 2{,}1\ \text{m}$

$2{,}50\ \text{m} > d_{\text{min}} = 2{,}1\ \text{m}$: les conditions recommandées sont **respectées**.

PIÈGE
Le tableau donne une distance minimale : il faut être plus loin que 2,1 m, pas plus près. Penser aussi à convertir les pouces en centimètres.

À LA CALCULATRICE



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

En dessous de la distance minimale, l'œil distingue les pixels : l'image paraît **pixellisée** (petits carrés visibles, contours en escalier).

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

Données utiles UHD : 3840 pixels en largeur, 2160 pixels en hauteur

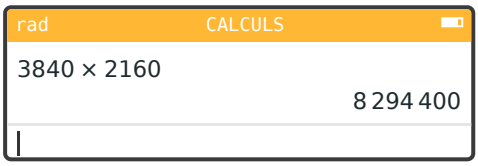
La définition est le nombre total de pixels de l'écran :

$3840 \times 2160 = 8\,294\,400$ pixels

Définition : $8{,}29 \times 10^6$ pixels, soit environ 8,3 mégapixels.

PIÈGE
La définition (nombre de pixels) n'est pas la résolution (nombre de pixels par unité de longueur) et ne dépend pas de la taille de l'écran.

À LA CALCULATRICE



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

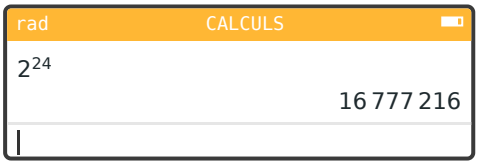
Données utiles un pixel est codé sur 3 octets ; 1 octet = 8 bits

Un pixel est codé sur $3 \times 8 = 24$ bits. Chaque bit vaut 0 ou 1, donc 24 bits donnent 2^{24} combinaisons.

$2^{24} = 16\,777\,216$, soit environ $1{,}68 \times 10^7$ couleurs (près de 17 millions).

MÉTHODE
Avec n bits, on code 2^n valeurs. Autre chemin : 256 nuances par composante (2^8), donc 256^3 couleurs.

À LA CALCULATRICE



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

Données utiles définition : 8 294 400 pixels (3.3) ; 3 octets par pixel ; 1 Mo = 10^6 octets

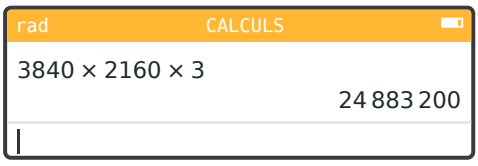
Taille = nombre de pixels × nombre d'octets par pixel :

$8\,294\,400 \times 3 = 24\,883\,200$ octets $= 24{,}9 \times 10^6$ octets

Taille d'une image : $24{,}9$ Mo ≈ 25 Mo, valeur attendue.

COMPRENDRE
Les images numériques (pixel, codage RVB, taille d'un fichier) étaient au programme du Bac S ; elles ne font plus partie du programme actuel de spécialité.

À LA CALCULATRICE



3.6 Montrer que le fichier d'un film UHD de 1 h 30 min ne peut théoriquement pas tenir sur un seul Blu-Ray double couche de 50 Go.

Données utiles 25 images par seconde ; 25 Mo par image (3.5) ; fichier audio : 10 Go ; 1 Go $= 10^3$ Mo

Durée du film : $\Delta t = 1 \times 3600 + 30 \times 60 = 5400$ s.

Nombre d'images : $N = 25 \times 5400 = 1{,}35 \times 10^5$ images.

Taille de la vidéo : $1{,}35 \times 10^5 \times 25 = 3{,}4 \times 10^6$ Mo $= 3{,}4 \times 10^3$ Go

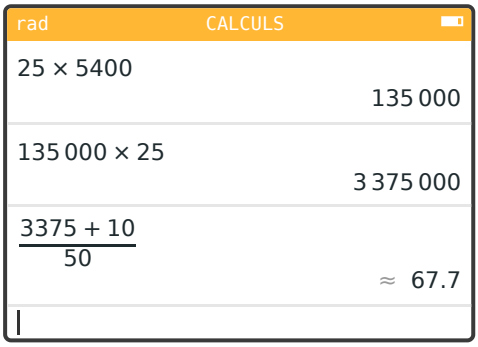
L'ajout des 10 Go du fichier audio ne change pas ce résultat arrondi.

Taille du film : environ $3{,}4 \times 10^3$ Go (3,4 To), soit près de 70 fois la capacité de 50 Go : le film **ne tient pas** sur un seul Blu-Ray.

PIÈGE
Oublier de convertir 1 h 30 min en secondes alors que la cadence est donnée en images par seconde.

COMPRENDRE
Sans arrondir, $3375 + 10 = 3385$ Go : c'est exactement la valeur de 3,385 To reprise par le sujet à la question 4.3.

À LA CALCULATRICE



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

Dans une propagation guidée, le signal suit un support matériel (câble, fibre).

Propagation guidée : l'**ADSL** (câble de cuivre de la ligne téléphonique) et la **fibre optique**. La téléphonie mobile (3G+, H+, 4G) utilise une propagation libre par ondes hertziennes.

4.2 Quel mode de transmission privilégier pour regarder en streaming un film au format UHD sur un home cinéma ? Argumenter.

Données utiles débit minimal nécessaire : $25\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$; débits moyens (en $\text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$) : 3G+ 3,6 ; H+ 5 ; 4G 40 ; ADSL 20 ; fibre 100

Seuls deux modes dépassent le débit minimal de $25\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$: la 4G (40) et la fibre optique (100). L'ADSL (20) est insuffisant.

Le home cinéma est une installation fixe, à domicile ; la fibre offre le débit le plus élevé, quatre fois le minimum requis, alors que la 4G relève de la téléphonie mobile.

Le mode à privilégier est la **fibre optique**.

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

Données utiles 1 To $= 10^{12}$ octets ; 1 octet $= 8$ bits ; $\Delta t = 5400$ s (3.6) ; meilleur débit : fibre, $100\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$

Nombre de bits à transmettre : $n = 3{,}385 \times 10^{12} \times 8 = 2{,}708 \times 10^{13}$ bits.

En streaming, le film doit être reçu au rythme où il est regardé, donc en $\Delta t = 5400$ s. Débit binaire nécessaire :

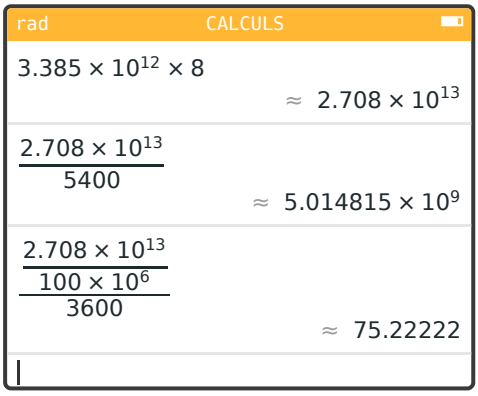
$$D = \frac{n}{\Delta t} = \frac{2{,}708 \times 10^{13}}{5400} = 5{,}0 \times 10^{9}\ \text{bit} \cdot \text{s}^{-1} = 5{,}0 \times 10^{3}\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$$

$D \approx 5{,}0 \times 10^{3}\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$, soit 50 fois le débit de la fibre ($100\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$) : aucun mode de transmission actuel ne suffit.

PIÈGE
Un débit s'exprime en bits par seconde, une taille de fichier en octets : sans le facteur 8, le résultat est faux.

MÉTHODE
Autre argument possible : avec la fibre, la transmission durerait $\frac{n}{D_{\text{fibre}}} \approx 2{,}7 \times 10^{5}$ s, soit 75 h pour un film de 1 h 30 min.

À LA CALCULATRICE



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

La compression réduit le nombre de bits à transmettre pour une même information.

Le débit nécessaire devient inférieur au débit disponible et la durée de transmission diminue : le film peut être regardé en streaming sans saccades.

COMPRENDRE
Pour passer de $5{,}0 \times 10^{3}$ à $25\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$, le fichier doit être réduit d'un facteur 200 environ. Le débit binaire n'est plus au programme actuel de spécialité.

Spécialité : Eraole, l'avion du futur

Bac S 2016 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

P Un site annonce que « l'apport de l'énergie solaire au cours du vol d'Éraole sera de 25 % ». Déterminer, en détaillant le raisonnement, si cette valeur est cohérente avec les documents, puis porter un regard critique sur le résultat et les hypothèses.

Données utiles éclairement moyen $\varepsilon_0 = 342\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, dont environ 30 % renvoyés dans l'espace ; $\eta = \dfrac{P_{\text{élec}}}{\varepsilon \times S}$ avec $\eta = 24\ \%$; $N = 1728$ cellules de surface $s = 249\ \text{cm}^2$; moteur électrique : $P_{\text{mot}} = 12$ kW en croisière, 17 kW au décollage ; durée du vol $\Delta t = 50$ h

Démarche. On compare l'énergie électrique produite par les cellules pendant le vol à l'énergie consommée par le moteur électrique pendant la même durée.

1. Énergie consommée par le moteur. Hypothèse : le décollage et la montée sont brefs devant les 50 h de vol, le moteur fonctionne donc à sa puissance de croisière.

$$E_{\text{mot}} = P_{\text{mot}} \times \Delta t = 12 \times 10^3 \times 50 \times 3600 = 2{,}16 \times 10^9\ \text{J}$$

2. Puissance électrique fournie par les cellules.

Surface totale : $S = N \times s = 1728 \times 249 \times 10^{-4} = 43{,}0\ \text{m}^2$.

Éclairement : 30 % de l'énergie solaire repart vers l'espace, il en reste 70 %. Hypothèse : les cellules reçoivent en moyenne $\varepsilon = 0{,}70 \times 342 = 239\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

D'après la définition du rendement : $P_{\text{élec}} = \eta \times \varepsilon \times S$

$$P_{\text{élec}} = 0{,}24 \times 0{,}70 \times 342 \times 43{,}0 = 2{,}47 \times 10^3\ \text{W}$$

3. Énergie solaire convertie pendant le vol. La valeur de ε_0 est une moyenne sur le jour et la nuit : on l'applique à toute la durée du vol.

$$E_{\text{élec}} = P_{\text{élec}} \times \Delta t = 2{,}47 \times 10^3 \times 50 \times 3600 = 4{,}45 \times 10^8\ \text{J}$$

4. Part de l'énergie solaire.

$$R = \frac{E_{\text{élec}}}{E_{\text{mot}}} = \frac{4{,}45 \times 10^8}{2{,}16 \times 10^9} = 0{,}21$$

5. Regard critique. On trouve 21 %, valeur du même ordre que les 25 % annoncés, mais un peu plus faible. L'écart s'explique par les hypothèses.

- Négliger le décollage (17 kW) n'explique pas l'écart : en tenir compte augmenterait E_{mot} et ferait encore baisser R.
- L'éclairement retenu est une moyenne sur l'année et sur tout le globe. Le vol est prévu au solstice d'été, dans l'hémisphère nord : les journées sont les plus longues de l'année et l'éclairement moyen est supérieur à cette valeur.
- L'avion vole à 3000 m : l'atmosphère traversée est moins épaisse qu'au sol et l'éclairement y est plus fort.
- À l'inverse, on a supposé que toutes les cellules sont éclairées en permanence dans les meilleures conditions, sans ombre ni nuage au-dessus de l'avion.

Avec un éclairement réel un peu supérieur à la moyenne utilisée, la part solaire se rapproche de 25 %.

PIÈGE
Laisser 249 cm² en centimètres carrés : $1\ \text{cm}^2 = 10^{-4}\ \text{m}^2$, pas 10^{-2}. De même, pour une énergie en joules : puissance en watts et durée en secondes.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs (24 %, 12 kW, 50 h) : R en a deux. Comme la durée est la même, $R = P_{\text{élec}}/P_{\text{mot}}$: sans les 30 % perdus, on trouverait 29 %, et 25 % est entre les deux.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer la grandeur à comparer, poser chaque hypothèse avant le calcul qui l'utilise, conclure par une phrase chiffrée, puis dire dans quel sens chaque hypothèse déplace le résultat.

$R \approx 21\ \%$: la valeur annoncée de 25 % est cohérente avec les documents, compte tenu des hypothèses simplificatrices.

À LA CALCULATRICE

