Corrigé complet — Bac S 2016 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

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

Ex 1	**Vanille et vanilline** Catégories de réactions · Diagramme de prédominance · Mécanisme réactionnel · Spectroscopie infrarouge · Rendement d'une synthèse · Dosage par étalonnage	9 pts	1 h 30	13 questions	p. 2
Ex 2	**Un accélérateur au service de l'art** Champ électrique uniforme · Force électrique et poids · Travail et énergie cinétique · Intensité et débit de charge · Niveaux d'énergie et photon · Rayons X	6 pts	1 h	7 questions	p. 8
Ex 3	**Radar Doppler météorologique et aviation** Effet Doppler · Propagation d'une onde électromagnétique · Écho radar : retard et distance · Grandeur en décibels et logarithme · Lignes de champ · Synthèse de documents	5 pts	50 min	6 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Des alternatives aux lampes à incandescence** Efficacité lumineuse · Spectres d'émission · Énergie d'un photon · Longueur d'onde et couleur · Synthèse additive · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 16

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.

Vanille et vanilline

Bac S 2016 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Pour chacune des synthèses des composés (2) et (5), indiquer s'il s'agit d'une addition, d'une élimination ou d'une substitution. Justifier brièvement.

Composé (2), alcool vanillique : deux atomes d'hydrogène se fixent sur les atomes de la double liaison $C{=}O$, qui devient une liaison simple $C{-}O$. Aucun atome ne quitte la molécule (on passe de $C_8H_8O_3$ à $C_8H_{10}O_3$).

Composé (5), bromovanilline : un atome d'hydrogène porté par le cycle est remplacé par un atome de brome.

Synthèse de (2) : **addition**. Synthèse de (5) : **substitution**.

PIÈGE
En formule topologique, les H liés aux carbones ne sont pas dessinés. Pour (5), il faut penser à celui du cycle que le brome remplace, sinon la réaction ressemble à tort à une addition.

MÉTHODE
Comparer réactif et produit. Des atomes en plus et une liaison multiple qui disparaît : addition. Des atomes en moins et une liaison multiple qui apparaît : élimination. Un atome ou groupe échangé contre un autre : substitution.

1.2 La réaction conduisant à l'alcool vanillique (2) correspond-elle à une modification de chaîne ou de groupe caractéristique ? Justifier.

Le squelette carboné est le même dans (1) et dans (2) : huit atomes de carbone, enchaînés de la même façon. En revanche, le groupe carbonyle de l'aldéhyde est transformé en groupe hydroxyle (fonction alcool).

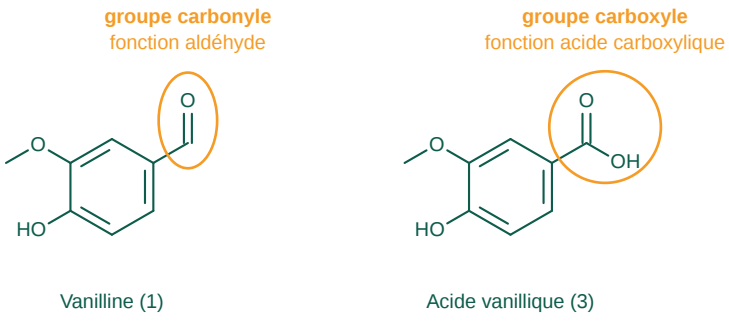
C'est une **modification de groupe caractéristique** : la chaîne carbonée reste intacte.

1.3 Recopier les formules de la vanilline (1) et de l'acide vanillique (3). Entourer dans chacune le groupe caractéristique modifié et nommer la fonction chimique associée.

Les groupes méthoxy et hydroxyle portés par le cycle sont inchangés. Seul le groupe situé en haut à droite est modifié (voir les formules ci-dessous).

Vanilline (1) : groupe carbonyle, fonction **aldéhyde**. Acide vanillique (3) : groupe carboxyle, fonction **acide carboxylique**.

PIÈGE
Dans l'acide, entourer tout le groupe $-COOH$, et pas seulement le $-OH$: pris seul, il ferait penser à un alcool. Le $-OH$ lié au cycle n'est pas concerné.



1.3 · Groupe caractéristique modifié dans la vanilline (1) et dans l'acide vanillique (3)

1.4 Justifier l'utilisation d'un réfrigérant à eau sur le ballon bicol.

La réaction libère de l'énergie : la température du mélange peut augmenter et une partie des espèces peut se vaporiser. Le réfrigérant à eau condense ces vapeurs, qui retombent dans le ballon.

Le réfrigérant évite les pertes de matière par vaporisation.

COMPRENDRE
C'est pour la même raison que le borohydrure de sodium est ajouté par petites portions, dans un bain de glace : on limite l'échauffement du mélange.

1.5 Représenter sur un axe des pH les domaines de prédominance du couple HVan / Van^-. Pourquoi ajoute-t-on une solution d'hydroxyde de sodium pour dissoudre la vanilline ?

Données utiles $pK_a(HVan/Van^-) = 7{,}4$; vanilline peu soluble sous forme acide, soluble sous forme basique

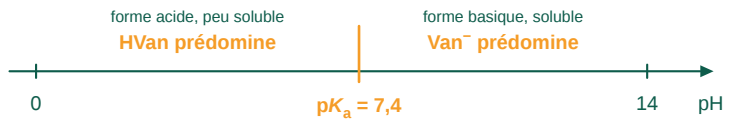
Pour $pH < 7{,}4$, la forme acide HVan prédomine ; pour $pH > 7{,}4$, c'est la base Van^- (diagramme ci-dessous).

La solution d'hydroxyde de sodium, de concentration voisine de $1\ mol \cdot L^{-1}$, est très basique : son pH est très supérieur à 7,4. Les ions HO^- transforment la vanilline en Van^- :

$HVan + HO^- \longrightarrow Van^- + H_2O$.

En milieu basique, la vanilline est sous sa forme Van^-, soluble dans l'eau : elle se dissout.

MÉTHODE
Sur un diagramme de prédominance, l'acide est toujours à gauche du pK_a (pH faibles), la base à droite. À $pH = pK_a$, les deux formes ont la même concentration.



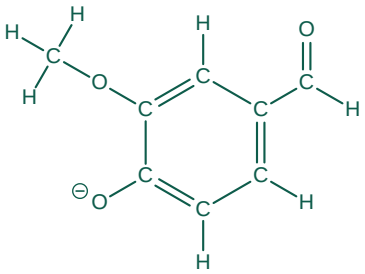
1.5 · Diagramme de prédominance du couple HVan / Van^-

1.6.1 Écrire la formule développée de Van^-.

Van^- est la vanilline privée de l'ion H^+ du groupe hydroxyle lié au cycle : l'atome d'oxygène correspondant porte la charge négative. Dans la formule développée, tous les atomes et toutes les liaisons sont écrits, y compris les liaisons $C-H$.

Formule développée de Van^- ($C_8H_7O_3^-$) : voir ci-dessous.

PIÈGE
Ne pas oublier les H que la formule topologique ne montre pas : trois sur le cycle, trois dans le groupe CH_3 et un sur le carbone de l'aldéhyde. Vérifier que chaque carbone a quatre liaisons.



1.6.1 · Formule développée de l'ion Van^- : toutes les liaisons sont écrites

1.6.2 Recopier l'étape du mécanisme et relier par des flèches courbes les sites donneurs et accepteurs d'électrons.

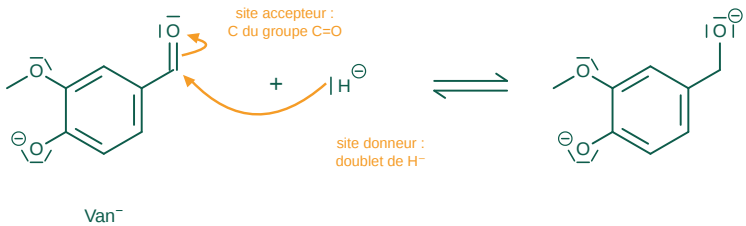
L'oxygène est plus électronégatif que le carbone : dans la liaison $C=O$, le carbone porte une charge partielle positive, c'est le site accepteur. L'ion hydrure H^- possède un doublet non liant, c'est le site donneur.

- Première flèche : du doublet de H^- vers le carbone du groupe carbonyle (formation de la liaison $C-H$).
- Seconde flèche : d'un doublet de la double liaison $C=O$ vers l'atome d'oxygène, qui porte alors une charge négative.

Deux flèches courbes, tracées en orange sur le schéma ci-dessous.

PIÈGE
Une flèche courbe part toujours d'un doublet d'électrons (site donneur) et pointe vers le site accepteur, jamais l'inverse. Elle ne part ni de l'atome H ni de la charge.

COMPRENDRE
Sans la seconde flèche, le carbone aurait cinq liaisons. Dans le produit, la nouvelle liaison $C-H$ n'apparaît pas : la formule est topologique.



1.6.2 · Étape du mécanisme complétée : les deux flèches courbes sont en orange

1.7 Justifier l'ajout d'acide chlorhydrique en excès après le refroidissement à 0 °C du mélange réactionnel.

Données utiles $\mathrm{p}K_a$ de l'alcool vanillique : 9,8 ; alcool vanillique peu soluble sous forme acide, soluble sous forme basique

En fin de réaction, le milieu est basique : l'alcool vanillique s'y trouve sous sa forme basique, soluble dans l'eau. L'acide chlorhydrique en excès fait passer le pH nettement en dessous de 9,8 : l'espèce redevient l'acide AVan, très peu soluble dans l'eau.

L'alcool vanillique précipite : on peut le récupérer par filtration sur Büchner.

COMPRENDRE
L'excès garantit que tout le produit est converti en AVan. À 0 °C, le solide est encore moins soluble, et on limite l'échauffement dû à la réaction entre $\mathrm{H_3O^+}$ et $\mathrm{HO^-}$.

1.8 À l'aide des spectres infrarouges (figures 2 et 3), vérifier que la vanilline a été consommée lors de la réaction.

Données utiles liaison C=O d'un aldéhyde : 1650 à 1740 $\mathrm{cm^{-1}}$

La vanilline possède une liaison C=O (aldéhyde) que l'alcool vanillique n'a pas.

Figure 2 (vanilline) : bande intense vers 1670 $\mathrm{cm^{-1}}$, dans l'intervalle 1650 – 1740 $\mathrm{cm^{-1}}$ de la liaison C=O.

Figure 3 (produit) : cette bande a disparu ; la première bande intense à droite de 2000 $\mathrm{cm^{-1}}$ se situe vers 1600 $\mathrm{cm^{-1}}$, hors de l'intervalle.

Le produit ne contient plus de liaison C=O : la vanilline a bien été consommée.

PIÈGE
L'axe des nombres d'onde est gradué de droite à gauche, avec une échelle qui change à 2000 $\mathrm{cm^{-1}}$. Les bandes vers 1500 – 1600 $\mathrm{cm^{-1}}$, communes aux deux spectres, viennent du cycle.

MÉTHODE
Pour suivre une transformation en infrarouge, repérer une liaison présente dans une seule des deux espèces, puis chercher sa bande dans chaque spectre à l'aide de la table.

1.9 Déterminer la valeur du rendement η de la synthèse.

Données utiles $m(\mathrm{HVan}) = 3{,}00\ \mathrm{g}$; $M(\mathrm{HVan}) = 152{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $m(\mathrm{AVan}) = 2{,}29\ \mathrm{g}$; $M(\mathrm{AVan}) = 154{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Les ions $\mathrm{H^-}$ et $\mathrm{H_3O^+}$ sont en excès : la vanilline est le réactif limitant. Une mole de vanilline donne une mole d'alcool vanillique, donc $n_{\max}(\mathrm{AVan}) = n_i(\mathrm{HVan})$.

$$n_i(\mathrm{HVan}) = \frac{m(\mathrm{HVan})}{M(\mathrm{HVan})} = \frac{3{,}00}{152{,}0} = 1{,}97 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

$$n_{\mathrm{exp}}(\mathrm{AVan}) = \frac{m(\mathrm{AVan})}{M(\mathrm{AVan})} = \frac{2{,}29}{154{,}0} = 1{,}49 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

$$\eta = \frac{n_{\mathrm{exp}}(\mathrm{AVan})}{n_{\max}(\mathrm{AVan})} = \frac{1{,}49 \times 10^{-2}}{1{,}97 \times 10^{-2}}$$

$\eta = 0{,}753$, soit environ 75 %

PIÈGE
Diviser directement les masses ($2{,}29 \div 3{,}00 = 0{,}763$) est faux : les deux espèces n'ont pas la même masse molaire. Le rendement se calcule avec des quantités de matière.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme les masses pesées. Le calcul final se fait avec les valeurs non arrondies : avec les valeurs arrondies, on trouverait 0,756.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.00}{152.0} \approx 0.01973684$

$\frac{2.29}{154.0} \approx 0.01487013$

$\frac{\frac{2.29}{154.0}}{\frac{3.00}{152.0}} \approx 0.7534199$

2.1 Montrer que la concentration de la solution mère F_0 est de $6{,}6 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, puis en déduire la concentration de la solution fille F_1.

Données utiles $m = 100\ \text{mg}$ de vanilline ; $V_0 = 1{,}00\ \text{L}$; $M(\text{HVan}) = 152{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; prélèvement $V_p = 1{,}00\ \text{mL}$; fiole $V_1 = 100{,}0\ \text{mL}$

$$c_0 = \frac{n}{V_0} = \frac{m}{M(\text{HVan}) \times V_0} = \frac{100 \times 10^{-3}}{152{,}0 \times 1{,}00} = 6{,}58 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

On retrouve bien $c_0 \approx 6{,}6 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Lors de la dilution, la quantité de vanilline prélevée se conserve : $c_0 \times V_p = c_1 \times V_1$.

$$c_1 = \frac{c_0 \times V_p}{V_1} = \frac{6{,}58 \times 10^{-4} \times 1{,}00}{100{,}0}$$

$c_0 = 6{,}58 \times 10^{-4} \approx 6{,}6 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $c_1 = 6{,}6 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 6{,}6\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Convertir 100 mg en grammes. Dans la dilution, les deux volumes sont dans la même unité (mL ici) : inutile de les convertir en litres.

COMPRENDRE
La solution est diluée 100 fois. La valeur $6{,}6\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ complète le tableau : les autres concentrations en sont les multiples (13, 20, 26…).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{100 \times 10^{-3}}{152.0 \times 1.00} \approx 6.578947 \times 10^{-4}$

$\frac{6.58 \times 10^{-4} \times 1.00}{100.0} \approx 6.58 \times 10^{-6}$

2.2 Montrer, à l'aide des résultats expérimentaux, que la masse de vanilline présente dans 1,00 g de sucre vanillé est d'environ 0,7 mg.

Données utiles $c_1 = 6{,}6\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (2.1) ; $A_{\text{sucre}} = 0{,}241$; $V = 500\ \text{mL}$; $M(\text{HVan}) = 152{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Pour chaque solution fille, on calcule le rapport $\dfrac{A}{c}$ (en $\text{L}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$) : $0{,}0265$; $0{,}0263$; $0{,}0255$; $0{,}0258$; $0{,}0258$; $0{,}0262$.

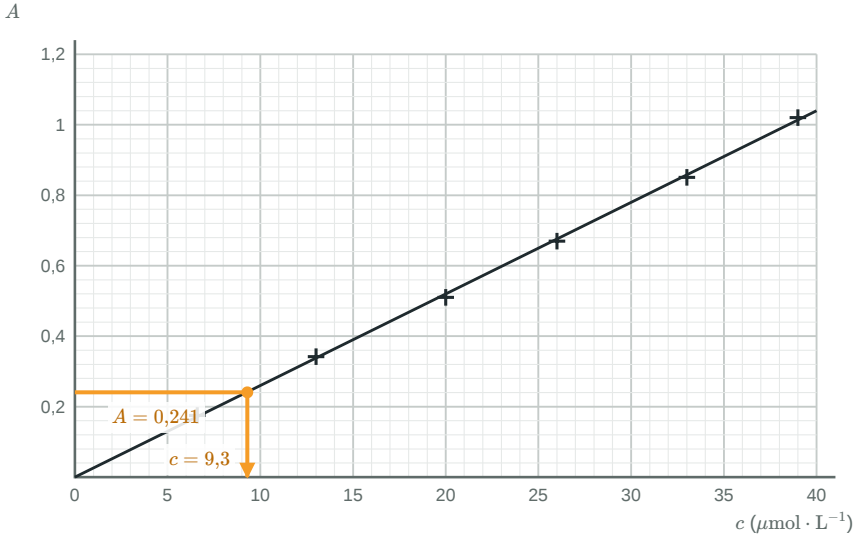
Ce rapport est pratiquement constant : l'absorbance est proportionnelle à la concentration (loi de Beer-Lambert), $A = k \times c$ avec $k = 0{,}026\ \text{L}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$ en moyenne.

Pour la solution de sucre vanillé : $c = \dfrac{A_{\text{sucre}}}{k} = \dfrac{0{,}241}{0{,}026} = 9{,}3\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

Masse de vanilline dans les $500\ \text{mL}$, donc dans le gramme de sucre dissous :

$$m = c \times V \times M(\text{HVan}) = 9{,}3 \times 10^{-6} \times 0{,}500 \times 152{,}0 = 7{,}0 \times 10^{-4}\ \text{g}$$

$m = 0{,}70\ \text{mg}$: on retrouve bien environ $0{,}7\ \text{mg}$ de vanilline par gramme de sucre vanillé.



2.2 · Droite d'étalonnage $A = k \times c$ et lecture pour la solution de sucre vanillé

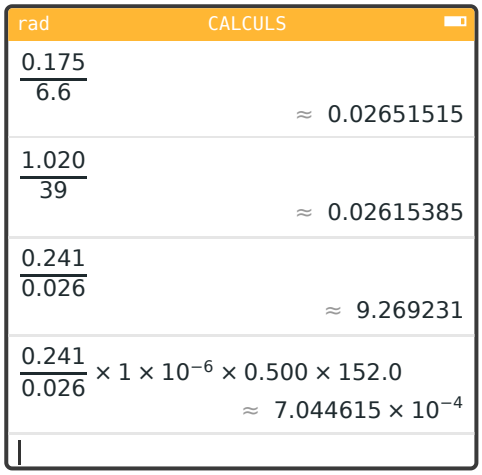
PIÈGE

La concentration lue est en $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et le volume en mL : convertir en $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et en L. C'est le volume de la fiole (500 mL) qui compte.

MÉTHODE

Sans papier millimétré, vérifier la proportionnalité par le calcul de A/c remplace le tracé de la droite d'étalonnage. Avec un graphique, on lit directement l'abscisse du point d'ordonnée 0,241.

À LA CALCULATRICE



2.3 Sachant qu'un gramme de gousse de vanille peut contenir de 5 à 25 mg de vanilline, vérifier si la mention sur l'étiquette est acceptable.

Données utiles étiquette : 4 % en masse de gousse de vanille ; $m = 0{,}70\ \text{mg}$ de vanilline par gramme de sucre (2.2)

D'après l'étiquette, $1{,}00\ \text{g}$ de sucre vanillé contient $\dfrac{4}{100} \times 1{,}00 = 0{,}04\ \text{g}$ de gousse de vanille.

Cette masse de gousse contient entre $0{,}04 \times 5 = 0{,}2\ \text{mg}$ et $0{,}04 \times 25 = 1\ \text{mg}$ de vanilline.

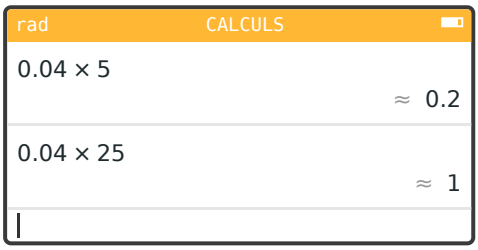
La masse mesurée vérifie $0{,}2\ \text{mg} < 0{,}70\ \text{mg} < 1\ \text{mg}$.

La valeur mesurée est dans l'intervalle attendu : la mention « 4 % en masse de gousse de vanille » est acceptable.

COMPRENDRE

Le dosage ne mesure pas la masse de gousse, mais celle de vanilline. Comme la teneur d'une gousse varie d'un facteur 5, on ne peut conclure que par un encadrement.

À LA CALCULATRICE



Un accélérateur au service de l'art

Bac S 2016 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Donner l'expression de la force électrique $\vec{F}$ s'exerçant sur un proton dans l'accélérateur et calculer sa valeur.

Données utiles $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ; $U = 2$ MV $= 2 \times 10^6$ V ; $d = 4$ m ; $E = \dfrac{U}{d}$

Le proton porte la charge $q = +e$: $\vec{F} = e\,\vec{E}$. La force a la direction et le sens du champ $\vec{E}$ (de A vers B).

Sa valeur est $F = e\,E = \dfrac{e\,U}{d}$.

$$F = \frac{1{,}60 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^{6}}{4}$$

$\vec{F} = e\,\vec{E}$ et $F = 8 \times 10^{-14}$ N

PIÈGE
Laisser la tension en mégavolts : $1\ \text{MV} = 10^6$ V. Avec U en volts et d en mètres, E est en $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ et F en newtons.

COMPRENDRE
U et d sont donnés avec un seul chiffre significatif : le résultat n'en garde qu'un, même si e en compte trois.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.60 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^{6}}{4} \approx 8 \times 10^{-14}$

1.2 Peut-on négliger le poids du proton devant la force électrique qu'il subit dans l'accélérateur ? Justifier par un calcul.

Données utiles $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; $F = 8 \times 10^{-14}$ N (1.1)

Poids du proton : $P = m\,g = 1{,}67 \times 10^{-27} \times 9{,}8 = 1{,}6 \times 10^{-26}$ N.

On compare les deux forces par leur rapport :

$$\frac{F}{P} = \frac{8 \times 10^{-14}}{1{,}6 \times 10^{-26}} = 5 \times 10^{12}$$

$F \approx 5 \times 10^{12}\,P$: le poids du proton est négligeable devant la force électrique.

MÉTHODE
Pour dire qu'une grandeur est négligeable devant une autre, on calcule leur rapport. Ici il dépasse très largement 100 : on peut ignorer le poids dans toute la suite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.67 \times 10^{-27} \times 9.8 \approx 1.6366 \times 10^{-26}$

$\dfrac{8 \times 10^{-14}}{1.6366 \times 10^{-26}} \approx 4.888183 \times 10^{12}$

1.3 Montrer qu'une tension de 2 MV permet à chaque proton d'atteindre une énergie cinétique adaptée à la méthode PIXE.

Données utiles $F = 8 \times 10^{-14}$ N (1.1) ; $d = 4$ m ; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; énergie cinétique adaptée : entre 1,4 et 4 MeV

La force $\vec{F}$ est constante et de même sens que le déplacement $\overrightarrow{AB}$, de longueur d :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F\,d = \frac{e\,U}{d} \times d = e\,U$$

Le proton entre en A avec une vitesse pratiquement nulle, donc $E_c(A) \approx 0$ et

$$\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = E_c(B) = e\,U$$

$E_c(B) = 1{,}60 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^{6} = 3{,}2 \times 10^{-13}$ J

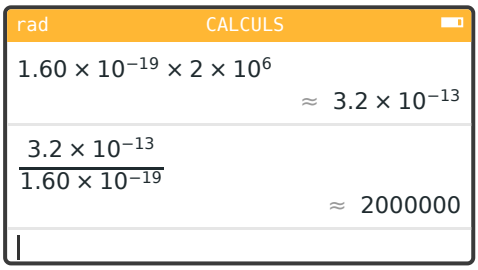
En électronvolts : $E_c(B) = \dfrac{3{,}2 \times 10^{-13}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 2 \times 10^{6}$ eV $= 2$ MeV.

$E_c(B) = 2$ MeV, valeur comprise entre 1,4 MeV et 4 MeV : l'énergie est adaptée.

PIÈGE
Confondre MV (une tension) et MeV (une énergie). La conclusion doit citer l'intervalle du texte, 1,4 à 4 MeV, et y situer la valeur trouvée.

COMPRENDRE
La distance d disparaît : $W = e\,U$. Une charge e accélérée sous une tension de 1 V gagne 1 eV ; sous 2 MV, elle gagne donc 2 MeV, sans calcul.

À LA CALCULATRICE



1.4 Calculer la valeur de la vitesse atteinte par le proton à la sortie de l'accélérateur. Indiquer s'il est pertinent d'utiliser le cadre de la mécanique classique.

Données utiles $E_c(B) = 3{,}2 \times 10^{-13}$ J (1.3) ; $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg ; célérité de la lumière dans le vide (valeur à connaître) : $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

À la sortie, $E_c(B) = \dfrac{1}{2}\,m\,v^2$, donc $v = \sqrt{\dfrac{2\,E_c(B)}{m}}$.

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 3{,}2 \times 10^{-13}}{1{,}67 \times 10^{-27}}} = 2 \times 10^{7}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On compare cette vitesse à celle de la lumière : $\dfrac{v}{c} = \dfrac{2 \times 10^{7}}{3{,}00 \times 10^{8}} \approx 0{,}07$, soit 7 % de c.

La vitesse reste inférieure à 10 % de c : les effets relativistes sont très faibles.

$v = 2 \times 10^{7}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; le cadre de la mécanique classique est pertinent.

PIÈGE
Utiliser l'énergie en MeV dans $\frac{1}{2}mv^2$: il faut des joules. Oublier la racine carrée donne une valeur absurde, supérieure à c.

COMPRENDRE
Dans l'ancien programme, on justifiait avec la relativité restreinte : $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ vaut ici 1,002, presque 1. Cette notion n'est plus au programme de spécialité ; le critère $v < 0{,}1\,c$ suffit.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\sqrt{\dfrac{2 \times 3.2 \times 10^{-13}}{1.67 \times 10^{-27}}} \approx 1.957635 \times 10^{7}$

$\dfrac{19\,576\,351.37}{3.00 \times 10^{8}} \approx 0.0652545$

1.5 Évaluer l'ordre de grandeur du nombre de protons nécessaires pour l'étude d'un métal, AGLAE fonctionnant quelques minutes. Comparer ce nombre au nombre de protons contenus dans une mole de protons.

Données utiles pour un métal, $I = 50\ \text{nA} = 50 \times 10^{-9}$ A ; durée choisie : $\Delta t = 5\ \text{min} = 300$ s ; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$

L'intensité est le débit de charge : $I = \dfrac{Q}{\Delta t}$. Les N protons reçus par la cible portent la charge $Q = N\,e$, donc

$$N = \frac{I\,\Delta t}{e}$$

Pour un métal, I peut atteindre 50 nA. On prend une durée de 5 min, soit 300 s :

$$N = \frac{50 \times 10^{-9} \times 300}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 9 \times 10^{13}$$

L'ordre de grandeur est 10^{14} protons.

Une mole de protons contient $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ protons, d'ordre de grandeur 10^{24} : $\dfrac{10^{24}}{10^{14}} = 10^{10}$.

$N \approx 10^{14}$ protons, soit environ dix milliards de fois moins que dans une mole.

PIÈGE
Oublier les conversions : $1\ \text{nA} = 10^{-9}$ A et la durée en secondes. Avec des minutes, le résultat est 60 fois trop petit.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer clairement les valeurs choisies (ici 50 nA et 5 min). Toute durée de « quelques minutes » convient, l'ordre de grandeur reste voisin de 10^{14}.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{50 \times 10^{-9} \times 300}{1.60 \times 10^{-19}} \approx 9.375 \times 10^{13}$

$\dfrac{6.02 \times 10^{23}}{9.375 \times 10^{13}} \approx 6.421333 \times 10^{9}$

2.1 Dans le cas du strontium, les rayonnements émis lors des désexcitations sont-ils bien des rayons X ? Justifier.

Données utiles spectre PIXE : pics du strontium vers 14 keV et 16 keV ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; rayons X : de 10^{-11} m à 10^{-8} m

Sur le spectre, les deux pics du strontium se situent à environ 14 keV et 16 keV.

L'énergie d'un photon est $E = h\,\nu = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$, avec E en joules.

Pic à 14 keV :

$$\lambda = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{14 \times 10^{3} \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 8{,}9 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

Pic à 16 keV :

$$\lambda' = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{16 \times 10^{3} \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 7{,}8 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

Ces deux longueurs d'onde sont comprises entre 10^{-11} m et 10^{-8} m.

$\lambda \approx 8{,}9 \times 10^{-11}$ m et $\lambda' \approx 7{,}8 \times 10^{-11}$ m : ce sont bien des rayons X.

PIÈGE
Laisser l'énergie en keV dans $\lambda = hc/E$. Il faut la convertir en joules : $1\ \text{keV} = 10^{3} \times 1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

COMPRENDRE
Les énergies sont lues sur le graphique à 1 keV près environ : deux chiffres significatifs suffisent. La conclusion ne dépend pas de cette précision.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{14 \times 10^{3} \times 1.60 \times 10^{-19}} \approx 8.879464 \times 10^{-11}$

$\dfrac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{16 \times 10^{3} \times 1.60 \times 10^{-19}} \approx 7.769531 \times 10^{-11}$

2.2 Le pigment utilisé pour peindre la tunique contient-il l'élément cuivre ? Justifier la réponse.

Données utiles niveaux d'énergie du cuivre : $E_1 = -9{,}0$ keV ; $E_2 = -0{,}93$ keV ; $E_3 = -0{,}74$ keV

Lors d'une désexcitation, l'atome émet un photon dont l'énergie est égale à l'écart entre les deux niveaux. Pour le cuivre, trois transitions sont possibles :

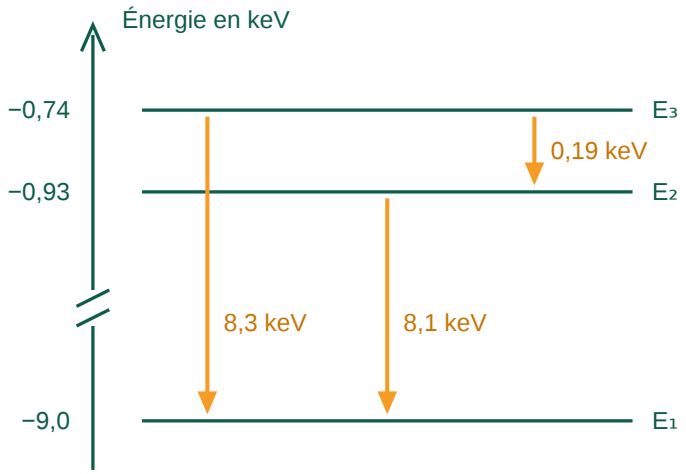
- $E_3 - E_1 = -0{,}74 - (-9{,}0) = 8{,}3$ keV
- $E_2 - E_1 = -0{,}93 - (-9{,}0) = 8{,}1$ keV
- $E_3 - E_2 = -0{,}74 - (-0{,}93) = 0{,}19$ keV

Si le pigment contenait du cuivre, le spectre présenterait deux pics proches de 8,1 keV et 8,3 keV. Or, autour de 8 keV, on n'observe que le bruit de fond, sans aucun pic.

Les pics attendus vers 8,1 keV et 8,3 keV sont absents : le pigment ne contient pas l'élément cuivre.

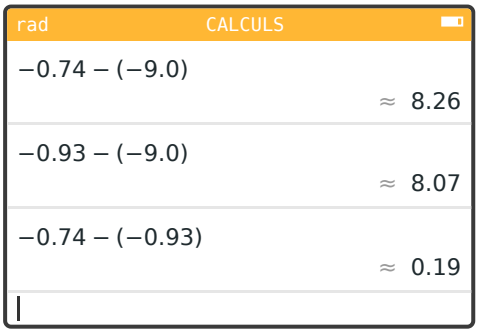
PIÈGE
Conclure à la présence de cuivre à cause de la transition à 0,19 keV. Le tout début du spectre est illisible à cette échelle ; les deux raies vers 8 keV, elles, manquent nettement.

COMPRENDRE
Chaque élément a ses propres niveaux d'énergie, donc ses propres raies : c'est sa signature. L'absence des raies d'un élément prouve son absence, comme la présence des pics à 14 et 16 keV signale le strontium.



2.2 · Niveaux d'énergie du cuivre et transitions possibles (en orange)

À LA CALCULATRICE



Radar Doppler météorologique et aviation

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

1.1 À quelle distance du radar se trouve le début de la zone de précipitations ?

Données utiles retard de l'écho (figure 4) : $\tau_R = 5{,}0\ \mu s$; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (à connaître)

Le début de l'écho revient au radar avec un retard τ_R sur le début de l'impulsion émise. Pendant cette durée, l'onde fait un aller-retour entre le radar et le début de la zone de précipitations, située à la distance D : elle parcourt $2D$ à la célérité c.

$$2D = c\,\tau_R \quad \text{donc} \quad D = \frac{c\,\tau_R}{2}$$

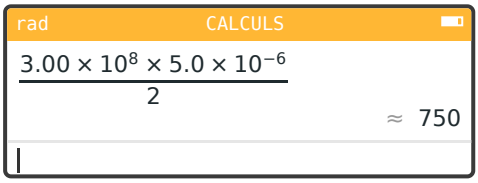
$$D = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 5{,}0 \times 10^{-6}}{2} = 7{,}5 \times 10^2\ \text{m}$$

$D = 7{,}5 \times 10^2$ m, soit 0,75 km.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : l'onde va jusqu'aux précipitations puis en revient. Sans lui, on annonce 1,5 km, le double de la distance réelle.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $\tau_R = 5{,}0\ \mu s$, la donnée la moins précise. Le sujet ne donne pas c : sa valeur dans le vide est à connaître.

À LA CALCULATRICE



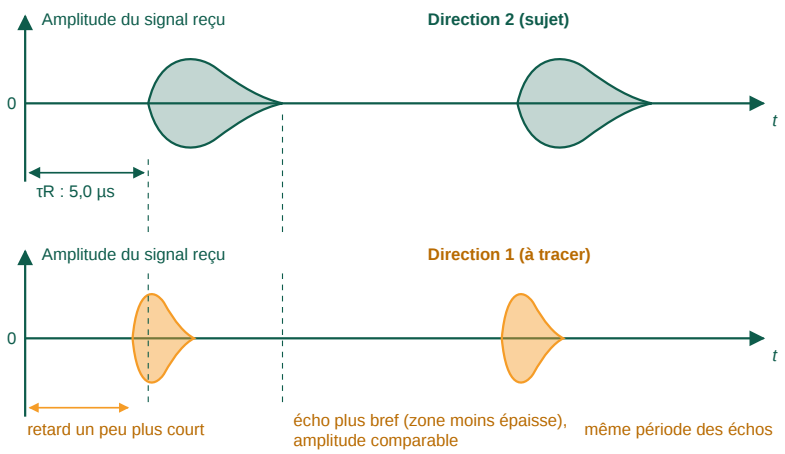
1.2 Représenter, sans souci d'échelle, sur la figure A de l'annexe, l'allure du signal reçu lorsque le radar émet dans la direction 1 de la figure 3.

On compare, sur la figure 3, ce que traverse le faisceau dans les directions 1 et 2.

- **Retard** : dans la direction 1, le début de la zone de précipitations est un peu plus proche du radar ; l'écho commence donc un peu plus tôt (τ'_R légèrement inférieur à $5{,}0\ \mu s$).
- **Durée** : la zone traversée est nettement moins épaisse ; l'écho est donc plus bref.
- **Amplitude** : la zone traversée est aussi foncée que dans la direction 2, donc l'intensité des précipitations est comparable ; l'amplitude est à peu près la même.
- **Répétition** : l'intervalle entre deux échos reste celui qui sépare deux impulsions émises ; il ne dépend que du radar.

Dans la direction 1 : échos de même amplitude, plus brefs, arrivant légèrement plus tôt, avec la même période de répétition (figure A complétée).

MÉTHODE
Un écho radar se lit en trois temps : le retard donne la distance, la durée donne l'épaisseur de la zone, l'amplitude donne l'intensité des précipitations. Chaque caractéristique du tracé doit être justifiée par une lecture de la figure 3.



1.2 · Annexe, figure A complétée : signal reçu dans la direction 1 (en orange)

2.1 Estimer l'intensité des précipitations en bord de piste.

Données utiles $R_{\text{dBZ}} = 10\log\dfrac{Z}{Z_0}$; réflectivité maximale $Z = 10^5 \times Z_0$; échelle de correspondance entre R_{dBZ} et l'intensité

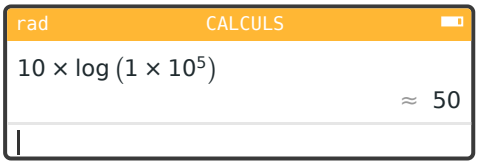
$$R_{\text{dBZ}} = 10\log\frac{Z}{Z_0} = 10\log\frac{10^5 \times Z_0}{Z_0} = 10\log\left(10^5\right) = 10 \times 5 = 50 \text{ dBZ}$$

Sur l'échelle du sujet, la graduation 50 dBZ est en face de la graduation $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

L'intensité des précipitations est d'environ $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

COMPRENDRE
$\log$ est le logarithme décimal : $\log(10^n) = n$. Une échelle en décibels resserre des grandeurs très étalées : multiplier Z par 10 ajoute seulement 10 dBZ. Le niveau d'intensité sonore suit le même principe.

À LA CALCULATRICE



2.2 Calculer le diamètre des grêlons.

Données utiles $\Delta f = \dfrac{2v\cos\theta}{c} \times f_{\text{émise}}$; $\Delta f = +200$ Hz ; $\theta = 60^\circ$; $f_{\text{émise}} = 3{,}0 \times 10^9$ Hz ; $v = \sqrt{k \times \dfrac{d}{2}}$; $k = 3{,}8 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Vitesse de chute des grêlons, à partir du décalage Doppler :

$$v = \frac{c\,\Delta f}{2\,f_{\text{émise}}\cos\theta} = \frac{3{,}00 \times 10^8 \times 200}{2 \times 3{,}0 \times 10^9 \times \cos 60^\circ} = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Diamètre : $v = \sqrt{k \times \dfrac{d}{2}}$ donne $v^2 = \dfrac{k\,d}{2}$, donc

$$d = \frac{2v^2}{k} = \frac{2 \times 20^2}{3{,}8 \times 10^4} = 2{,}1 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$d = 2{,}1 \times 10^{-2} \text{ m} = 2{,}1 \text{ cm}$

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\cos 60$ ne vaut plus $0{,}5$ et tout le calcul est faux. Autre erreur fréquente : oublier d'élever v au carré en isolant d.

MÉTHODE
Deux relations, deux étapes : calculer d'abord la grandeur intermédiaire v, la contrôler (20 m/s, soit 72 km/h, plausible pour un grêlon), puis seulement en déduire d.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$$\frac{3.00 \times 10^8 \times 200}{2 \times 3.0 \times 10^9 \times \cos(60°)} \approx 20$$

$$\frac{2 \times 20^2}{3.8 \times 10^4} \approx 0.02105263$$

2.3 Représenter sur la figure B de l'annexe, sans souci d'échelle, la direction et le sens du vent aux positions n°1 et n°2. Justifier.

Données utiles décalage Doppler positif à la position n°1 (début de piste), négatif à la position n°2 (bout de piste)

Direction : en un point, le vecteur vitesse du vent est tangent à la ligne de champ qui passe par ce point.

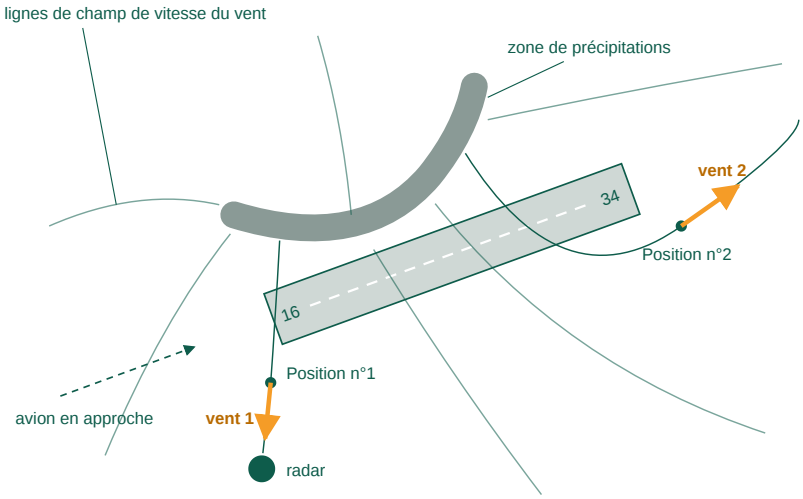
Sens : il est donné par le signe du décalage Doppler.

- Position n°1 : $\Delta f > 0$, donc $f_{\text{reçue}} > f_{\text{émise}}$. Les gouttes ou grêlons portés par le vent se rapprochent du radar : le vent souffle vers le radar.
- Position n°2 : $\Delta f < 0$, donc $f_{\text{reçue}} < f_{\text{émise}}$. Le vent s'éloigne du radar.

En n°1 : vecteur tangent à la ligne de champ, dirigé vers le radar.
En n°2 : vecteur tangent à la ligne de champ, dirigé à l'opposé du radar (figure B complétée).

PIÈGE
Tracer le vecteur le long de la droite radar-point. Le Doppler ne donne que le sens (rapprochement ou éloignement) ; la direction est celle de la tangente à la ligne de champ.

COMPRENDRE
Les deux vecteurs s'éloignent de la zone de précipitations : c'est la signature d'une rafale descendante, dont l'air s'étale dans toutes les directions en arrivant au sol.



2.3 · Annexe, figure B complétée (schéma simplifié) : vecteurs vitesse du vent en orange

2.4 Faire un bilan des conditions météorologiques des trois questions précédentes, puis indiquer en le justifiant si l'avion peut atterrir en toute sécurité ou si un déroutement est nécessaire.

Données utiles intensité $50\ \text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (2.1) ; $d = 2{,}1$ cm (2.2) ; sens du vent (2.3) ; seuils du sujet : fort orage au-delà de $50\ \text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, grêlons dangereux au-delà de 4 cm

- **Précipitations** : environ $50\ \text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, soit exactement le seuil au-delà duquel le sujet parle de fort orage. La situation est à la limite.
- **Grêle** : grêlons de 2,1 cm, inférieurs aux 4 cm à partir desquels la carlingue et les réacteurs sont menacés. Pas de danger majeur de ce côté.
- **Vent** : les sens sont très différents aux deux extrémités de la piste, ce qui révèle une rafale descendante. L'avion, qui se pose de l'extrémité 16 vers l'extrémité 34, aurait un vent plutôt de face en début de piste, puis un vent arrière en bout de piste, d'où un risque de perte de portance.

Le critère d'alerte du sujet (vents très différents entre les deux extrémités de la piste) est rempli, avec des précipitations au seuil du fort orage.

L'avion ne peut pas atterrir en toute sécurité : un déroutement est nécessaire.

MÉTHODE

Pour une synthèse : reprendre chaque résultat chiffré, le comparer au seuil donné dans les documents, puis conclure par une décision nette. Une conclusion sans comparaison aux seuils ne rapporte pas les points.

Spécialité : Des alternatives aux lampes à incandescence

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

1 Calculer la puissance électrique d'une lampe blanche à DEL avec luminophore qui fournit la même puissance lumineuse qu'une lampe à incandescence de 60 W. Montrer que le pourcentage d'économie réalisée est de l'ordre de 93 %.

Données utiles efficacité lumineuse : $10\ \text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ (incandescence), $150\ \text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ (DEL avec luminophore) ; $P_{\text{inc}} = 60\ \text{W}$

L'efficacité lumineuse k est le rapport de la puissance lumineuse P_{lum} (en lm) sur la puissance électrique P (en W) : $k = \dfrac{P_{\text{lum}}}{P}$, soit $P_{\text{lum}} = k \times P$.

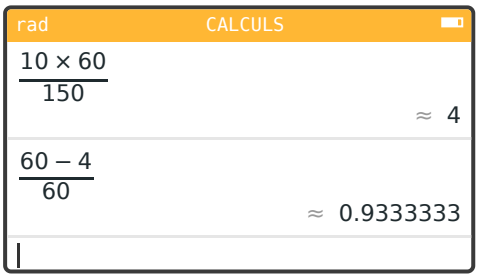
Lampe à incandescence : $P_{\text{lum}} = k_{\text{inc}} \times P_{\text{inc}} = 10 \times 60 = 6{,}0 \times 10^2\ \text{lm}$

Lampe à DEL de même puissance lumineuse : $P_{\text{DEL}} = \dfrac{P_{\text{lum}}}{k_{\text{DEL}}} = \dfrac{6{,}0 \times 10^2}{150} = 4{,}0\ \text{W}$

Économie relative : $\dfrac{P_{\text{inc}} - P_{\text{DEL}}}{P_{\text{inc}}} = \dfrac{60 - 4{,}0}{60} = 0{,}93$

$P_{\text{DEL}} = 4{,}0\ \text{W}$; l'économie est de 56 W sur 60 W, soit 93 % : c'est bien la valeur attendue.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Calculer $\dfrac{4{,}0}{60} = 6{,}7\ \%$ et s'arrêter là : c'est la part encore consommée, pas l'économie. Il faut rapporter la puissance économisée (56 W) à la puissance initiale.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme 60 W et $10\ \text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. L'économie ne dépend que des efficacités : $1 - \dfrac{10}{150} = 0{,}93$, quelle que soit la puissance de la lampe remplacée.

COMPRENDRE
Le lumen et l'efficacité lumineuse ne figurent plus au programme actuel de spécialité de terminale ; la définition donnée par le sujet suffit pour répondre.

2 Associer chacun des trois spectres à une lampe à incandescence (filament à 3000 K), à une DEL ou à une lampe blanche à DEL bleue avec luminophore. Problème : indiquer les constituants des deux lampes de remplacement possibles (YAG, DEL) et justifier par le calcul le choix des semi-conducteurs.

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 ; énergie des photons : GaSb 0,68 eV, GaAs 1,43 eV, AlGaAs 1,77 eV, GaP 2,25 eV, InGaN 2,67 eV ; figures 1 et 2 ; tableau des couleurs

Question 2.

- Spectre 1 : un pic étroit vers 460 nm (bleu), puis une large bande de 500 à 750 nm, semblable à l'émission du YAG de la figure 2. Le pic est la lumière de la DEL bleue non absorbée, la bande celle du luminophore.
- Spectre 2 : spectre continu dont l'intensité croît de 400 à 800 nm. C'est l'allure de la courbe à 3000 K de la figure 1, dont le maximum est situé dans l'infrarouge, vers 1000 nm.
- Spectre 3 : un seul pic étroit vers 630 nm, donc une lumière quasi monochromatique.

Spectre 1 : lampe blanche à DEL bleue avec luminophore ; spectre 2 : lampe à incandescence ; spectre 3 : DEL.

Problème. Une lampe d'éclairage domestique doit émettre une lumière blanche. On calcule la longueur d'onde émise par chaque DEL pour connaître sa couleur, puis on choisit les constituants pour chacune des deux techniques.

Longueur d'onde émise par chaque DEL

L'énergie d'un photon est $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$, avec E en joules.

Pour InGaN : $\lambda = \dfrac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{2{,}67 \times 1{,}602 \times 10^{-19}} = 4{,}65 \times 10^{-7}\ \text{m} = 465\ \text{nm}$

De la même façon :

- GaSb (0,68 eV) : $\lambda = 1{,}8 \times 10^{3}$ nm, infrarouge ;
- GaAs (1,43 eV) : $\lambda = 868$ nm, infrarouge ;
- AlGaAs (1,77 eV) : $\lambda = 701$ nm, rouge (620-750 nm) ;
- GaP (2,25 eV) : $\lambda = 552$ nm, vert (500-578 nm) ;
- InGaN (2,67 eV) : $\lambda = 465$ nm, bleu (446-500 nm).

Les DEL au GaSb et au GaAs émettent hors du visible (au-delà de 750 nm) : elles ne conviennent pas pour éclairer.

Lampe à DEL multiples

D'après la synthèse additive, la superposition de lumières rouge, verte et bleue donne du blanc. On associe donc trois DEL : AlGaAs (rouge), GaP (vert) et InGaN (bleu).

Lampe à DEL avec luminophore

D'après la figure 2, le YAG absorbe entre 400 et 520 nm environ, avec un maximum vers 460 nm. La DEL doit émettre dans ce domaine : seule celle à l'InGaN (465 nm) convient. Le YAG réémet une large bande de 500 à 750 nm (vert, jaune, orange, rouge) qui, ajoutée au bleu de la DEL non absorbé, donne une lumière blanche.

PIÈGE

Laisser l'énergie en électronvolts dans $\lambda = \dfrac{h\,c}{E}$: avec h en J · s, il faut multiplier E par $1{,}602 \times 10^{-19}$. Le résultat sort en mètres, à convertir en nanomètres pour lire la couleur.

COMPRENDRE

Le spectre 1 confirme la seconde lampe : son pic vers 460 nm correspond à la DEL InGaN. La relation $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$ reste au programme actuel ; la synthèse additive relève aujourd'hui des classes antérieures.

MÉTHODE

Calculer une fois $h\,c = 1{,}24 \times 10^{3}$ eV · nm, puis $\lambda\,(\text{nm}) = \dfrac{1{,}24 \times 10^{3}}{E\,(\text{eV})}$ pour chaque DEL. Plus l'énergie du photon est grande, plus la longueur d'onde est courte.

Lampe 1 : trois DEL, AlGaAs (701 nm, rouge), GaP (552 nm, vert) et InGaN (465 nm, bleu). Lampe 2 : une DEL InGaN (465 nm) recouverte de YAG.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{0.68 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 1.825843 \times 10^{-6}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{1.43 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 8.682329 \times 10^{-7}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{1.77 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 7.014537 \times 10^{-7}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{2.25 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 5.518102 \times 10^{-7}$$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{2.67 \times 1.602 \times 10^{-19}} \approx 4.650086 \times 10^{-7}$$