Corrigé complet — Bac S 2015 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

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

Ex 1	**Le smartphone, l'outil multimédia** Énergie d'un photon · Effet photoélectrique · Chaîne de numérisation · Codage RVB et synthèse additive · Définition et résolution d'une image · Pouvoir séparateur de l'œil	6 pts	1 h	6 questions	p. 2
Ex 2	**Séparer les énantiomères de l'ibuprofène** Énantiomères et carbone asymétrique · Excès énantiomérique · Estérification et catalyse · Groupes caractéristiques · Nomenclature et formule topologique · Quantité de matière et volume	9 pts	1 h 30	15 questions	p. 5
Ex 3	**Quelques aspects de la physique du vol avec l'A380** Énergie cinétique · Travail d'une force constante · Théorème de l'énergie cinétique · Principe d'inertie · Bilan de forces · Lecture graphique	5 pts	50 min	6 questions	p. 10
Ex 4	**Spécialité : Acoustique d'une salle de répétition de l'opéra de Lyon** Temps de réverbération · Formule de Sabine · Aire d'absorption équivalente · Coefficient d'absorption · Résolution de problème	5 pts	50 min	1 questions	p. 14

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.

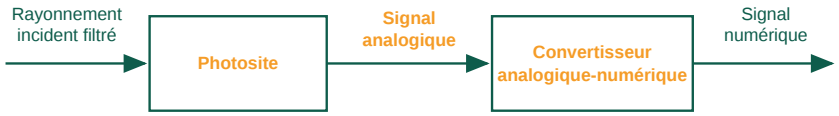
Le smartphone, l'outil multimédia

Bac S 2015 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Compléter le schéma de l'annexe (chaîne de conversion du rayonnement incident filtré en signal numérique) avec les termes pertinents de la liste proposée.

Le rayonnement filtré arrive sur le **photosite**, qui le convertit par effet photoélectrique en un **signal analogique**. Ce signal entre dans le **convertisseur analogique-numérique**, qui délivre le signal numérique.

Premier cadre : photosite ; au-dessus de la flèche : signal analogique ; second cadre : convertisseur analogique-numérique.



1.1 · Annexe complétée (réponses en orange)

PIÈGE
Placer « Filtre » ou « Matrice de Bayer » dans le premier cadre : le rayonnement d'entrée est déjà filtré. « Photons » décrit ce rayonnement, pas un élément de la chaîne. Trois termes de la liste ne servent pas.

1.2 Déterminer la valeur maximale de la longueur d'onde dans le vide de l'onde détectée par le capteur. À quel domaine spectral appartient cette radiation ?

Données utiles $E_{\text{min}} = 1{,}14$ eV ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} (valeur à connaître)

Un photon de longueur d'onde λ dans le vide a pour énergie $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$.

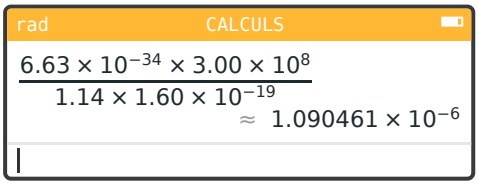
Le capteur n'absorbe que les photons tels que $E \geqslant E_{\text{min}}$, donc $\lambda \leqslant \dfrac{h\,c}{E_{\text{min}}}$: la plus petite énergie donne la plus grande longueur d'onde.

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{h\,c}{E_{\text{min}}} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}14 \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 1{,}09 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

Cette longueur d'onde dépasse 800 nm, limite du visible du côté du rouge.

$\lambda_{\text{max}} = 1{,}09 \times 10^{-6}$ m $= 1{,}09$ µm : domaine de l'infrarouge (proche).

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Laisser l'énergie en électronvolts : la relation exige des joules. Autre erreur fréquente : annoncer une longueur d'onde minimale, alors qu'un seuil en énergie donne un maximum en longueur d'onde.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme toutes les données. La célérité de la lumière n'est pas rappelée dans l'énoncé : elle fait partie des valeurs à connaître.

1.3 Parmi les quatre réponses spectrales (figures a à d), identifier celle du capteur de l'appareil photo d'un smartphone. Justifier.

Données utiles $\lambda_{\max} = 1{,}09\ \mu\text{m} = 1{,}09 \times 10^3$ nm (1.2)

Le capteur doit répondre :

- à tout le visible (400 à 800 nm), puisqu'il fournit les composantes rouge, verte et bleue de l'image ;
- au proche infrarouge jusqu'à environ $1{,}09 \times 10^3$ nm (1.2), ce que confirme la photographie de la télécommande, dont le signal vers 1 µm est enregistré.

Figure a : réponse nulle au-delà de 700 nm. Figure b : ultraviolet seulement (280 à 400 nm). Figure d : rien dans le visible, et une réponse qui se prolonge jusqu'à 1,7 µm. Seule la figure c couvre l'intervalle de 400 à 1000 nm.

La réponse spectrale du capteur du smartphone est celle de la figure c.

MÉTHODE
Pour identifier une courbe, traduire d'abord le texte en un intervalle chiffré de longueurs d'onde, puis éliminer une à une les courbes qui ne le couvrent pas. Regarder l'unité de chaque axe : la figure d est graduée en µm.

1.4 Déterminer la couleur affichée par le pixel central de la figure 3. Justifier.

Données utiles pixels rouges voisins : 253, 198, 243, 234 ; pixels verts voisins : 25, 62, 45, 32 ; pixel central bleu : 209

Rouge : moyenne des quatre pixels rouges voisins, $R = \dfrac{253 + 198 + 243 + 234}{4} = 232$.

Vert : moyenne des quatre pixels verts voisins, $V = \dfrac{25 + 62 + 45 + 32}{4} = 41$.

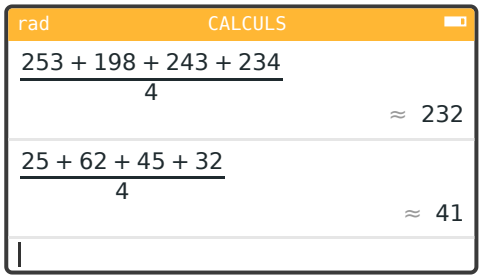
Bleu : valeur du pixel central, $B = 209$.

Sur une échelle de 0 à 255, le rouge et le bleu sont intenses, le vert est faible. D'après le schéma de la synthèse additive, la superposition de rouge et de bleu donne du magenta.

Codage RVB $(232; 41; 209)$: le pixel central s'affiche en magenta.

PIÈGE
Répondre « bleu » parce que le photosite central porte un filtre bleu. La couleur affichée résulte des trois composantes, dont deux sont reconstituées à partir des voisins.

À LA CALCULATRICE



2.1 Une photo de 8 Mpixels a un poids de 1,3 Mo. En déduire le nombre de photos de ce type que l'on peut stocker sur une carte mémoire de 16 Go.

Données utiles $1\ \text{Mo} = 10^6$ octets ; $1\ \text{Go} = 10^9$ octets

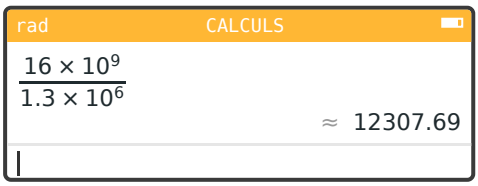
Le nombre de photos est le quotient de la capacité de la carte par le poids d'une photo, les deux exprimés en octets :

$$N = \frac{16 \times 10^9}{1{,}3 \times 10^6} = 1{,}2 \times 10^4$$

La carte peut contenir environ $1{,}2 \times 10^4$ photos, soit $12\,000$ photos.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs suffisent, comme pour 1,3 Mo et 16 Go. Une photo de 8 Mpixels codée sur 3 octets par pixel pèserait 24 Mo : le fichier de 1,3 Mo est donc compressé.

À LA CALCULATRICE



2.2 Quelle définition choisir pour que l'image imprimée (15 cm × 11,5 cm, observée à 30 cm) ait la « qualité photo » et occupe le moins de place mémoire possible ?

Données utiles $\alpha = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad ; $D = 30$ cm ; largeur $\ell = 15$ cm ; hauteur $h = 11{,}5$ cm

L'œil ne distingue pas deux pixels voisins si l'angle sous lequel il voit un pixel de côté a ne dépasse pas α. D'après le schéma, $\tan\alpha = \dfrac{a}{D}$, et pour un angle aussi petit $\tan\alpha \approx \alpha$ (en radians). Taille maximale d'un pixel :

$$a = D \times \alpha = 0{,}30 \times 3{,}0 \times 10^{-4} = 9{,}0 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

Nombre minimal de pixels :

- en largeur : $\dfrac{\ell}{a} = \dfrac{0{,}15}{9{,}0 \times 10^{-5}} \approx 1{,}7 \times 10^{3}$ (soit 1667) ;
- en hauteur : $\dfrac{h}{a} = \dfrac{0{,}115}{9{,}0 \times 10^{-5}} \approx 1{,}3 \times 10^{3}$ (soit 1278).

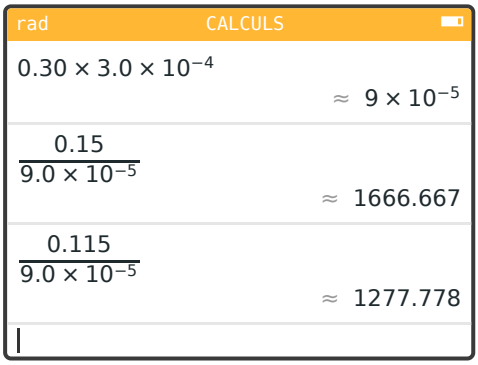
La définition 1600×1200 est insuffisante dans les deux directions. La plus petite définition qui convient, donc celle qui occupe le moins de mémoire, est la suivante.

Il faut choisir 2048×1536 pixels (3 Mpixels).

PIÈGE
Calculer $\tan\alpha$ avec la calculatrice réglée en degrés : l'angle est donné en radians. Penser aussi à convertir les centimètres en mètres, ou à tout garder en centimètres.

MÉTHODE
Question ouverte : 1) traduire le critère en taille maximale de pixel ; 2) en déduire le nombre de pixels nécessaire sur chaque dimension ; 3) comparer au tableau et retenir la plus petite définition suffisante.

À LA CALCULATRICE



Séparer les énantiomères de l'ibuprofène

Bac S 2015 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Justifier que les molécules (S)-ibuprofène et (R)-ibuprofène sont des énantiomères.

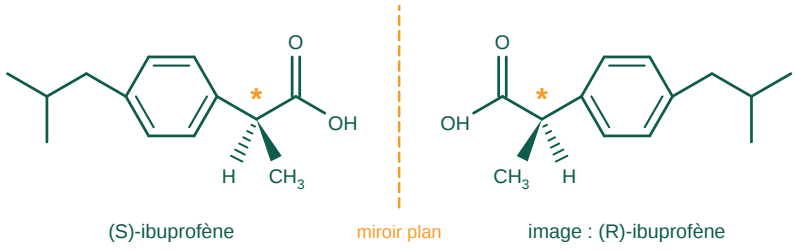
Les deux molécules ont le même enchaînement d'atomes. Chacune possède un seul atome de carbone asymétrique, noté C* : il est lié à quatre groupes différents ($-\mathrm{H}$, $-\mathrm{CH_3}$, $-\mathrm{COOH}$ et le cycle substitué). Elles sont donc chirales.

Elles ne diffèrent que par la disposition dans l'espace de H et $\mathrm{CH_3}$ autour de C* : l'une est l'image de l'autre dans un miroir plan, et elles ne sont pas superposables.

Les deux molécules sont images l'une de l'autre dans un miroir et non superposables : ce sont des **énantiomères**.

COMPRENDRE
L'image du (S) dans le miroir, retournée de 180° autour d'un axe vertical, donne exactement le dessin du (R) de l'énoncé : H passe à l'avant, $\mathrm{CH_3}$ à l'arrière.

COMPRENDRE
Chiralité, carbone asymétrique et énantiomères étaient au programme de Terminale S ; ces notions ne figurent plus dans le programme actuel de spécialité.



1.1 · Le (S)-ibuprofène et son image dans un miroir plan ; C* : carbone asymétrique

1.2 Indiquer la valeur de l'excès énantiomérique ee de l'ibuprofène®.

Données utiles $ee = \left|\dfrac{n_R - n_S}{n_R + n_S}\right| \times 100$; mélange équimolaire (racémique)

Le médicament est un mélange équimolaire des deux énantiomères : $n_R = n_S$, donc $n_R - n_S = 0$.

$ee = 0\ \%$ pour le mélange racémique.

1.3 Quelle devrait être la valeur de ee pour un médicament énantiomériquement pur ?

Un seul énantiomère est présent, par exemple le (S) : $n_R = 0$.

$$ee = \left|\frac{0 - n_S}{0 + n_S}\right| \times 100 = 100\ \%$$

$ee = 100\ \%$ pour un énantiomère pur.

COMPRENDRE
Grâce à la valeur absolue, le résultat est le même quel que soit l'énantiomère présent seul. L'excès énantiomérique varie donc de 0 % (racémique) à 100 % (pur).

1.4 Citer deux techniques de séparation classiques en chimie. Indiquer pourquoi elles ne permettent pas de séparer le (S)-ibuprofène du (R)-ibuprofène.

Deux techniques : la **distillation fractionnée**, qui exploite un écart de températures d'ébullition, et l'**extraction liquide-liquide**, qui exploite un écart de solubilités dans deux solvants.

Or deux énantiomères ont les mêmes propriétés physiques usuelles : même température d'ébullition, même solubilité dans un solvant ordinaire.

Sans différence de propriété physique à exploiter, ces techniques ne séparent pas les deux énantiomères.

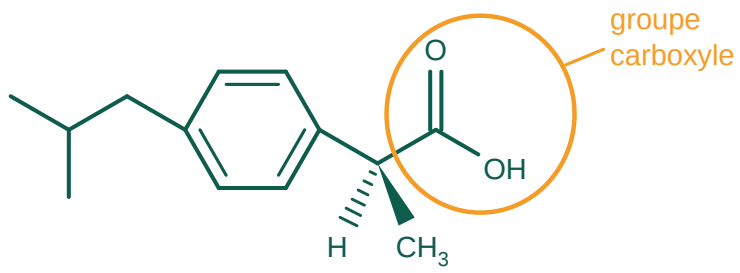
COMPRENDRE
Deux énantiomères ne se distinguent que face à un partenaire lui-même chiral. C'est le cas d'une enzyme, d'où la stratégie de la partie 2.

2.1 Recopier la formule du (S)-ibuprofène, entourer le(s) groupe(s) caractéristique(s) et nommer la ou les famille(s) chimique(s) correspondante(s).

La molécule porte un seul groupe caractéristique, entouré sur la figure : le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$, en bout de chaîne.

Groupe **carboxyle** : famille des **acides carboxyliques**.

PIÈGE
Entourer séparément $\mathrm{C{=}O}$ et $\mathrm{O{-}H}$: portés par le même carbone, ils forment un seul groupe, ni cétone ni alcool.



(S)-ibuprofène : acide carboxylique

2.1 · Groupe caractéristique du (S)-ibuprofène

2.2 Y a-t-il, lors de la réaction d'estérification, modification de chaîne ou de groupe caractéristique ? Justifier.

Le squelette carboné de l'ibuprofène se retrouve intact dans le produit. Seul le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ est transformé en groupe ester $-\mathrm{COO{-}R}$: le produit appartient à la famille des esters.

Il y a modification de **groupe caractéristique** (carboxyle → ester), sans modification de chaîne.

2.3 Pourquoi l'enzyme CRL7 n'apparaît-elle pas dans l'équation de la réaction d'estérification ?

L'enzyme diminue la durée de la réaction sans en être un réactif : c'est un **catalyseur** (catalyse enzymatique). Elle intervient au cours de la transformation puis est régénérée ; elle n'est donc pas consommée.

Catalyseur, retrouvé intact en fin de réaction : il ne figure pas dans l'équation.

COMPRENDRE
Ce catalyseur est sélectif : il n'accélère que l'estérification du (S). C'est cette différence de vitesse entre les deux énantiomères qui rend la séparation possible.

2.4 Calculer la valeur de l'excès énantiomérique ee du mélange réactionnel à l'instant $t = 12$ h.

Données utiles $n(\text{ibuprofène}) = 0{,}100$ mmol, racémique ; à 12 h : $n_S = 0{,}012$ mmol ; le (R) ne réagit pas

Mélange racémique initial : $n_{R,0} = n_{S,0} = \dfrac{0{,}100}{2} = 0{,}050$ mmol.

Au bout de 12 h, l'énantiomère (R) est resté intact : $n_R = 0{,}050$ mmol ; il reste $n_S = 0{,}012$ mmol de (S).

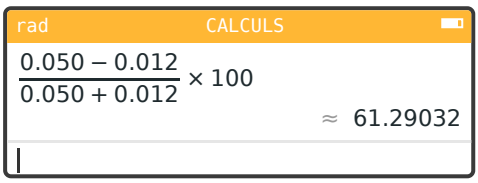
$$ee = \left|\frac{n_R - n_S}{n_R + n_S}\right| \times 100 = \frac{0{,}050 - 0{,}012}{0{,}050 + 0{,}012} \times 100$$

$ee = 61\ \%$: le mélange réactionnel s'est enrichi en (R)-ibuprofène.

PIÈGE
Prendre $n_R = 0{,}100$ mmol : les 0,100 mmol sont la quantité totale d'ibuprofène, moitié (R), moitié (S).

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $n_S = 0{,}012$ mmol. Les quantités peuvent rester en mmol : les unités se simplifient dans le quotient.

À LA CALCULATRICE



2.5 Déterminer la quantité de matière de (S)-ibuprofène qu'on peut récupérer par hydrolyse de l'ester extrait à l'étape 3.

Données utiles $n_{S,0} = 0{,}050$ mmol (2.4) ; $n_S = 0{,}012$ mmol restant à 12 h

Quantité de (S)-ibuprofène consommée en 12 h : $n_{S,0} - n_S = 0{,}050 - 0{,}012 = 0{,}038$ mmol.

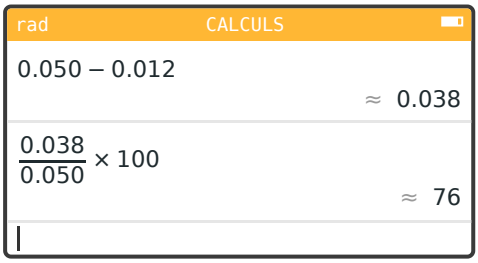
D'après l'équation, une mole d'acide donne une mole d'ester : $n(\text{ester}) = 0{,}038$ mmol.

L'hydrolyse de l'étape 4 est intégrale, et une mole d'ester redonne une mole de (S)-ibuprofène.

$n = 0{,}038$ mmol de (S)-ibuprofène récupérable, soit $3{,}8 \times 10^{-5}$ mol.

COMPRENDRE
On récupère 76 % du (S) initial, pur de tout (R) puisque seul l'ester du (S) s'est formé.

À LA CALCULATRICE



2.6 Quelle serait la valeur de ee du mélange réactionnel si la réaction d'estérification était totale ?

Si la réaction était totale, tout le (S)-ibuprofène serait transformé en ester : $n_S = 0$, alors que $n_R = 0{,}050$ mmol.

$$ee = \frac{0{,}050 - 0}{0{,}050 + 0} \times 100 = 100\ \%$$

$ee = 100\ \%$: le mélange ne contiendrait plus que du (R)-ibuprofène.

COMPRENDRE
Plus ee est proche de 100 %, plus le (S) est passé sous forme d'ester : c'est le critère que les chercheurs cherchent à rendre maximal dans la partie 3.

3.1 Donner la formule topologique de l'isooctane et le nom de l'isoamylol en nomenclature officielle.

Isooctane, ou 2,2,4-triméthylpentane : chaîne principale de 5 atomes de carbone, deux groupes méthyle sur le carbone 2 et un sur le carbone 4 (voir la figure). On retrouve bien C_8H_{18}.

Isoamylol, d'après la formule du tableau : chaîne la plus longue de 4 atomes de carbone (butane), numérotée pour donner le plus petit indice au carbone portant $-OH$ (carbone 2) ; groupe méthyle sur le carbone 3.

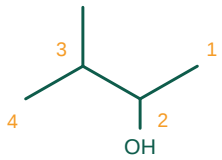
Isoamylol du sujet : **3-méthylbutan-2-ol**.

COMPRENDRE
Au laboratoire, « isoamylol » désigne d'ordinaire le 3-méthylbutan-1-ol. La formule dessinée dans le sujet porte $-OH$ sur le carbone 2 : on nomme la molécule dessinée.

MÉTHODE
Nommer un alcool : 1) chaîne la plus longue contenant le carbone lié à $-OH$; 2) numérotation donnant à ce carbone le plus petit indice ; 3) ramifications en préfixe, terminaison « -ol » précédée de l'indice.



Isooctane : 2,2,4-triméthylpentane



Isoamylol du sujet : 3-méthylbutan-2-ol

3.1 · Formule topologique de l'isooctane (à tracer) et numérotation de l'isoamylol du sujet

3.2 Pour chaque série de mesures, formuler une hypothèse que la série permet de tester.

Dans chaque série, un seul paramètre varie, les autres sont fixés.

- Série n°1 : la nature du solvant organique influe sur l'excès énantiomérique.
- Série n°2 : la nature de l'alcool (longueur de chaîne, ramification, classe) influe sur ee.
- Série n°3 : le ratio molaire alcool / ibuprofène influe sur ee.
- Série n°4 : la température influe sur ee.

Quatre hypothèses, une par paramètre : solvant, alcool, ratio molaire, température.

COMPRENDRE
Une hypothèse est une affirmation que l'expérience confirme ou réfute. Ici les quatre sont confirmées : ee change nettement dans chaque série.

3.3 Quelle classe d'alcool semble être à exclure pour réaliser la séparation ? Comment pourrait-on conforter ce résultat ?

Données utiles série n°2 : $ee = 0\ \%$ avec le 2-méthylbutan-2-ol ; 65 %, 88 % et 94 % avec les trois autres alcools

Avec le 2-méthylbutan-2-ol, $ee = 0\ \%$: le mélange est resté racémique, le (S)-ibuprofène n'a pas été estérifié. Dans cet alcool, le carbone portant $-OH$ est lié à trois autres atomes de carbone : c'est un alcool tertiaire. Les trois autres alcools, primaires ou secondaire, donnent $ee \geq 65\ \%$.

Pour conforter ce résultat, on refait l'expérience dans les mêmes conditions avec d'autres alcools tertiaires (par exemple le 2-méthylpropan-2-ol) et on vérifie que ee reste nul.

Classe à exclure : les **alcools tertiaires**.

COMPRENDRE
Un seul alcool tertiaire a été testé : c'est pourquoi l'énoncé dit « semble ». Une conclusion sur une classe entière demande plusieurs exemples.

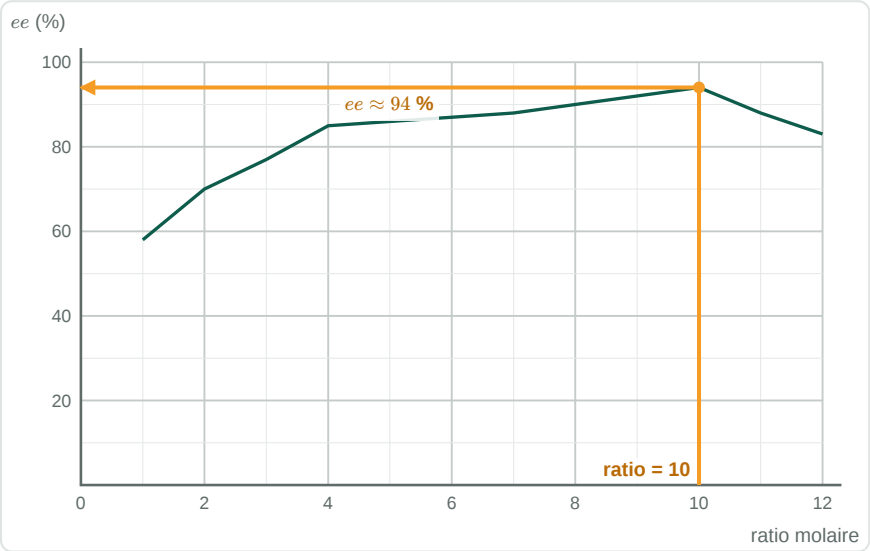
3.4 Préciser quelles pourraient être les conditions expérimentales les plus favorables pour séparer les énantiomères de l'ibuprofène selon le protocole.

La séparation est d'autant meilleure que ee est grand. On retient, dans chaque série, la condition qui donne la valeur maximale :

- solvant : isooctane ($ee = 94\ \%$, série n°1) ;
- alcool : 2-éthylhexan-1-ol, ou isooctanol ($ee = 94\ \%$, série n°2) ;
- ratio molaire alcool / ibuprofène égal à 10 (maximum de la courbe, série n°3) ;
- température $\theta = 50\ ^\circ\text{C}$ (maximum de la courbe, série n°4).

Isooctane, 2-éthylhexan-1-ol, ratio molaire de 10 et $\theta = 50\ ^\circ\text{C}$.

PIÈGE
Croire qu'un grand excès d'alcool ou une température élevée améliorent toujours le résultat : les deux courbes passent par un maximum puis redescendent.



3.4 · Série n°3 : lecture du maximum de l'excès énantiomérique

3.5 Quel volume de l'alcool choisi à la question 3.4 faut-il prélever pour réaliser la séparation dans les conditions du protocole précisé ?

Données utiles ratio molaire 10 (3.4) ; $n(\text{ibuprofène}) = 0{,}100$ mmol ; isooctanol $C_8H_{18}O$, $\rho = 0{,}832\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1{,}0$, $M(\text{C}) = 12{,}0$, $M(\text{O}) = 16{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Quantité d'alcool : $n = 10 \times n(\text{ibuprofène}) = 10 \times 0{,}100 = 1{,}00$ mmol $= 1{,}00 \times 10^{-3}$ mol.

Masse molaire : $M = 8 \times 12{,}0 + 18 \times 1{,}0 + 16{,}0 = 130{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Comme $m = n\,M$ et $m = \rho\,V$:

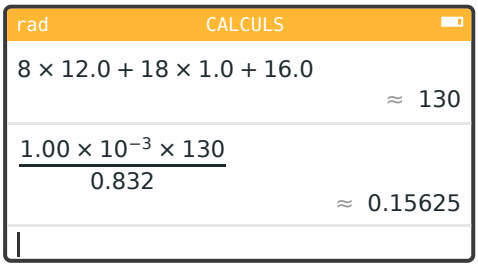
$$V = \frac{n\,M}{\rho} = \frac{1{,}00 \times 10^{-3} \times 130{,}0}{0{,}832}$$

$V = 0{,}156$ mL, soit $156\ \mu$L de 2-éthylhexan-1-ol.

PIÈGE
Laisser n en mmol avec M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: on obtiendrait 156 « mL ». Convertir en mol, ou raisonner en mg et en μL.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme ρ et n. Un volume aussi faible se prélève à la micropipette, pas à l'éprouvette graduée.

À LA CALCULATRICE



Quelques aspects de la physique du vol avec l'A380

Bac S 2015 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Calculer la variation d'énergie cinétique ΔE_C de l'avion entre le début et la fin de la phase de roulage.

Données utiles $m = 560$ t ; $v_A = 0$; $v_B = 320$ km · h^{-1}

Système {avion}, étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

L'avion part du repos en A : $E_C(A) = 0$, donc $\Delta E_C = E_C(B) - E_C(A) = \dfrac{1}{2} m v_B^2$.

Conversions : $m = 560 \times 10^3$ kg et $v_B = \dfrac{320}{3{,}6} = 88{,}9$ m · s^{-1}.

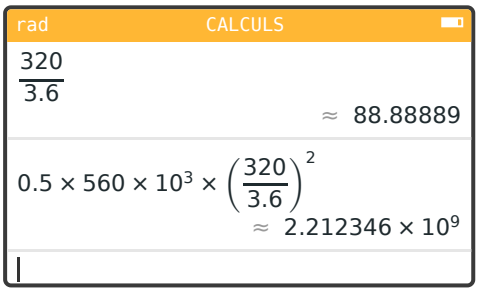
$$\Delta E_C = \frac{1}{2} \times 560 \times 10^3 \times \left(\frac{320}{3{,}6}\right)^2$$

$\Delta E_C = 2{,}21 \times 10^9$ J

PIÈGE
Laisser la masse en tonnes ou la vitesse en km · h^{-1} : le résultat n'est en joules que si m est en kg et v en m · s^{-1}.

COMPRENDRE
Les données (560 t, 320 km · h^{-1}) ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. On conserve la valeur non arrondie en mémoire pour la question suivante.

À LA CALCULATRICE



1.2 Calculer la valeur de la force de poussée $F_{\text{poussée}}$ lors du roulage, puis dire si le fonctionnement des quatre réacteurs est nécessaire.

Données utiles $AB = 1{,}8$ km ; $\Delta E_C = 2{,}21 \times 10^9$ J (1.1) ; poussée maximale d'un réacteur : 310 kN

Forces prises en compte sur le trajet AB : le poids $\vec{P}$, la réaction de la piste $\vec{R}$ (normale, car sans frottement), la portance et la poussée ; la traînée est négligée.

Le poids, la réaction et la portance sont perpendiculaires au déplacement horizontal : leur travail est nul.

La poussée est constante, de même direction et de même sens que le déplacement : $W_{AB}(\vec{F}_{\text{poussée}}) = F_{\text{poussée}} \times AB \times \cos 0 = F_{\text{poussée}} \times AB$.

La relation donnée devient $\Delta E_C = F_{\text{poussée}} \times AB$, d'où

$$F_{\text{poussée}} = \frac{\Delta E_C}{AB} = \frac{2{,}21 \times 10^9}{1{,}8 \times 10^3} = 1{,}2 \times 10^6 \text{ N}$$

Nombre de réacteurs à pleine puissance : $\dfrac{1{,}2 \times 10^6}{310 \times 10^3} \approx 4{,}0$. Trois réacteurs ne fourniraient au plus que $3 \times 310 = 930$ kN.

$F_{\text{poussée}} = 1{,}2 \times 10^6$ N : les quatre réacteurs doivent fonctionner, pratiquement à leur poussée maximale.

PIÈGE
Oublier de justifier que trois travaux sont nuls, ou laisser AB en kilomètres. Le travail s'exprime en joules avec une force en newtons et une distance en mètres.

COMPRENDRE
AB n'a que deux chiffres significatifs : la force est donnée avec deux chiffres.

MÉTHODE
Théorème de l'énergie cinétique : 1) système et référentiel ; 2) bilan des forces ; 3) travail de chacune (nul si elle est perpendiculaire au déplacement) ; 4) isoler la grandeur cherchée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.5 \times 560 \times 10^3 \times \left(\frac{320}{3.6}\right)^2}{1.8 \times 10^3} \approx 1229081$$

$$\frac{0.5 \times 560 \times 10^3 \times \left(\frac{320}{3.6}\right)^2}{\frac{1.8 \times 10^3}{310 \times 10^3}} \approx 3.964777$$

2.1 Représenter, sans souci d'échelle et en justifiant, les forces appliquées sur l'avion en vol de croisière. Indiquer le sens de déplacement.

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, l'avion a un mouvement rectiligne uniforme. D'après le principe d'inertie, les forces qu'il subit se compensent :

$$\vec{P} + \vec{F}_{\text{portance}} + \vec{F}_{\text{traînée}} + \vec{F}_{\text{poussée}} = \vec{0}$$

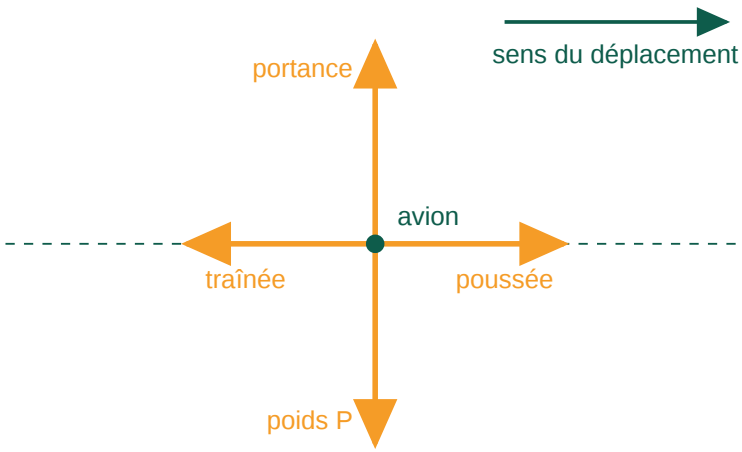
Le mouvement est horizontal : le poids et la portance sont verticaux, la poussée et la traînée horizontales. La somme est donc nulle sur chaque direction :

- verticalement, la portance (vers le haut) et le poids (vers le bas) ont la même longueur ;
- horizontalement, la poussée (sens du mouvement) et la traînée (sens opposé) ont la même longueur.

$\vec{F}_{\text{portance}} = -\vec{P}$ et $\vec{F}_{\text{poussée}} = -\vec{F}_{\text{traînée}}$: vecteurs opposés deux à deux, tracés depuis le point représentant l'avion.

PIÈGE
Tracer une poussée plus longue que la traînée « parce que l'avion avance ». À vitesse constante, la somme des forces est nulle ; une poussée supérieure ferait accélérer l'avion.

COMPRENDRE
« Tenir compte de la réalité physique » signifie ici : même longueur pour deux forces opposées, même point d'application, directions et sens corrects.



2.1 · Forces sur l'avion en croisière : elles se compensent deux à deux

2.2 Déterminer la valeur de la force de poussée et la comparer à la poussée maximale des quatre réacteurs.

Données utiles $v = 945\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; altitude $10\ \text{km}$; $S = 845\ \text{m}^2$; $C_x = 0{,}020$; poussée maximale d'un réacteur : $310\ \text{kN}$

D'après 2.1, la poussée et la traînée ont la même valeur : $F_{\text{poussée}} = F_{\text{traînée}} = \frac{1}{2}\rho v^2 C_x S$.

L'atmosphère étant immobile, la vitesse de l'air par rapport à l'avion vaut la vitesse de croisière : $v = \frac{945}{3{,}6} = 262{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Lecture sur la figure 1, à l'altitude $h = 10\ \text{km}$: $\rho \approx 0{,}40\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

$$F_{\text{poussée}} = \frac{1}{2} \times 0{,}40 \times \left(\frac{945}{3{,}6}\right)^2 \times 0{,}020 \times 845 = 2{,}3 \times 10^5\ \text{N}$$

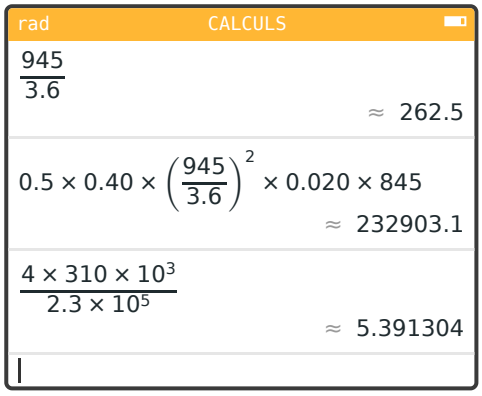
Poussée maximale des quatre réacteurs : $F_{\max} = 4 \times 310 \times 10^3 = 1{,}24 \times 10^6\ \text{N}$, soit $\frac{F_{\max}}{F_{\text{poussée}}} \approx 5$.

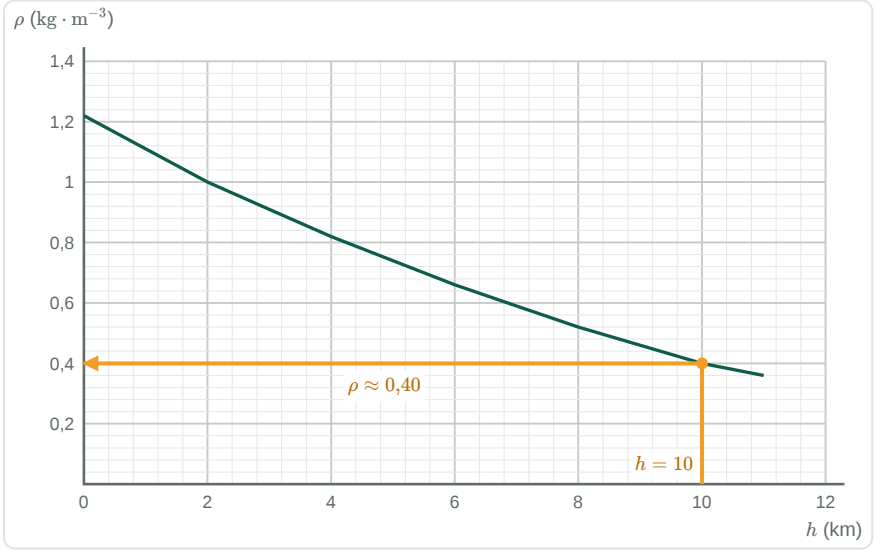
$F_{\text{poussée}} = 2{,}3 \times 10^5\ \text{N}$, environ cinq fois plus faible que la poussée maximale des quatre réacteurs.

PIÈGE
Prendre la masse volumique de l'air au sol (environ $1{,}2\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) au lieu de la lire à 10 km, ou oublier de convertir la vitesse.

COMPRENDRE
La lecture graphique et C_x limitent la précision à deux chiffres significatifs. Une lecture $\rho = 0{,}41\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ est acceptable et donne $2{,}4 \times 10^5\ \text{N}$.

À LA CALCULATRICE





2.2 · Figure 1 du sujet, avec la lecture à 10 km d'altitude

2.3 Pourquoi est-il pertinent de voler à haute altitude en vol de croisière ?

La figure 1 montre que la masse volumique ρ de l'air diminue quand l'altitude augmente : elle est environ trois fois plus faible à 10 km qu'au niveau du sol.

Or la traînée $F_{\text{traînée}} = \frac{1}{2}\rho v^2 C_x S$ est proportionnelle à ρ. À vitesse donnée, elle est donc plus faible en altitude, et la poussée qui doit la compenser aussi.

À haute altitude, les réacteurs fournissent une poussée plus faible pour la même vitesse : l'avion consomme moins de carburant.

COMPRENDRE
La portance est elle aussi proportionnelle à ρ : on ne peut pas monter indéfiniment, car elle doit continuer à compenser le poids.

2.4 Calculer la masse de l'Airbus A380 sur cette portion de vol et commenter la valeur obtenue.

Données utiles $C_z = 0{,}32$; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $\rho \approx 0{,}40\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et $v = 262{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (2.2) ; masse au décollage : 560 t

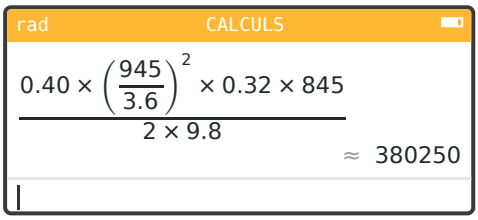
D'après 2.1, le poids et la portance ont la même valeur : $P = F_{\text{portance}}$, soit $m\,g = \dfrac{1}{2}\,\rho\,v^2\,C_z\,S$.

$$m = \frac{\rho\,v^2\,C_z\,S}{2\,g} = \frac{0{,}40 \times \left(\dfrac{945}{3{,}6}\right)^2 \times 0{,}32 \times 845}{2 \times 9{,}8} = 3{,}8 \times 10^5\ \text{kg}$$

Cette masse est inférieure aux 560 t du décollage. C'est cohérent : entre le décollage et cette portion du vol, l'avion a brûlé une partie de son carburant, donc sa masse a diminué.

$m = 3{,}8 \times 10^5$ kg, soit environ 380 t : valeur plausible, inférieure à la masse au décollage.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
S'arrêter au calcul : « commenter » est noté. Il faut comparer à la masse au décollage du texte et expliquer l'écart par le carburant consommé.

COMPRENDRE
Le résultat dépend de la lecture de ρ : avec $0{,}41\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ on obtient 390 t. L'ordre de grandeur et la conclusion ne changent pas.

Spécialité : Acoustique d'une salle de répétition de l'opéra de Lyon

Bac S 2015 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

P Le sol du studio de répétition du chœur est en parquet lamé. Quel(s) matériau(x) choisir pour habiller les murs et le plafond (un seul matériau pour l'ensemble) afin d'obtenir un temps de réverbération le plus proche possible de celui de la grande salle ?

Données utiles $H = 5{,}30$ m ; $L = 10{,}60$ m ; $P = 12{,}40$ m ; $TR = \dfrac{kV}{A}$ avec $k = 0{,}16$ s $\cdot$ m^{-1} ; $A = \sum S_i\,\alpha_i$; tableau des TR de la grande salle ; tableau des coefficients α_i ; schéma des tessitures

1. Démarche. Pour chaque fréquence, on cherche le coefficient d'absorption α que devrait avoir le revêtement des murs et du plafond pour que le studio ait le même TR que la grande salle, puis on le compare à ceux des matériaux proposés.

2. Géométrie du studio (pavé droit).

$$V = H \times L \times P = 5{,}30 \times 10{,}60 \times 12{,}40 = 697 \text{ m}^3$$

Sol : $S_{\text{sol}} = L \times P = 10{,}60 \times 12{,}40 = 131 \text{ m}^2$.

Quatre murs et plafond :

$$S_{\text{mp}} = 2\,H\,L + 2\,H\,P + L\,P = 112{,}4 + 131{,}4 + 131{,}4 = 375 \text{ m}^2$$

3. Coefficient d'absorption idéal. L'aire d'absorption équivalente du studio est $A = S_{\text{mp}}\,\alpha + S_{\text{sol}}\,\alpha_{\text{sol}}$. La formule de Sabine donne $A = \dfrac{kV}{TR}$, d'où :

$$\alpha = \frac{kV}{TR \times S_{\text{mp}}} - \frac{S_{\text{sol}}}{S_{\text{mp}}}\,\alpha_{\text{sol}} = \frac{0{,}297}{TR} - 0{,}350\,\alpha_{\text{sol}}$$

TR (grande salle) et α_{sol} (parquet lamé) dépendent de la fréquence :

f (Hz)	125	250	500	1000	2000
TR (s)	1,07	1,02	0,91	0,84	0,72
α_{sol}	0,02	0,03	0,08	0,12	0,11
α idéal	0,27	0,28	0,30	0,31	0,37

D'après le schéma des tessitures, la voix humaine s'étend d'environ 70 Hz à 1500 Hz : la colonne 2000 Hz ne concerne pas le chœur, on compare sur les quatre premières.

4. Comparaison avec les matériaux.

- Plâtre, verre ($\alpha \leqslant 0{,}08$) et contreplaqué ($\alpha \leqslant 0{,}12$ sauf à 500 Hz) absorbent beaucoup trop peu : le studio serait bien plus réverbérant que la grande salle.
- Tissu tendu sur molleton : 0,85 à 1000 Hz, presque le triple de la valeur idéale ; les aigus seraient étouffés.
- Fibres de bois : 0,44 de 250 à 1000 Hz, nettement au-dessus de 0,3.
- Aggloméré de liège : 0,26 à 250 Hz, puis 0,22, valeurs les plus proches de l'idéal.

Aucun matériau ne convient à 125 Hz (au mieux 0,15 pour 0,27 souhaité).

5. Vérification par le temps de réverbération du studio, $TR = \dfrac{kV}{S_{\text{mp}}\,\alpha + S_{\text{sol}}\,\alpha_{\text{sol}}}$, pour les deux meilleurs candidats :

PIÈGE
Oublier le sol dans l'aire d'absorption, ou le compter dans la surface à habiller. Le parquet garde son propre coefficient, qui change avec la fréquence comme TR : il faut une valeur de α par colonne.

COMPRENDRE
$k = 0{,}16$ n'a que deux chiffres significatifs : α et TR s'écrivent avec deux chiffres. L'acoustique des salles, comme les notions de timbre et d'harmoniques, relevait de l'ancien enseignement de spécialité ; les formules utiles sont toutes fournies.

MÉTHODE
Résolution de problème : traduire l'objectif en une grandeur calculable (ici α idéal), isoler cette grandeur littéralement, puis répéter le calcul pour chaque fréquence avec le mode tableur de la calculatrice. Terminer par une comparaison et une réponse argumentée.

f (Hz)	125	250	500	1000
Grande salle	1,07	1,02	0,91	0,84
Aggloméré de liège	1,9	1,1	1,2	1,1
Fibres de bois	1,9	0,66	0,64	0,62

Aucun matériau ne reproduit exactement l'acoustique de la grande salle à toutes les fréquences : le choix est un compromis.

L'aggloméré de liège est le matériau le mieux adapté : $TR \approx 1{,}1$ à $1{,}2$ s de 250 à 1000 Hz, contre $0{,}84$ à $1{,}02$ s dans la grande salle. Les graves (125 Hz) restent trop réverbérés.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$5.30 \times 10.60 \times 12.40 \approx 696.632$

$2 \times 5.30 \times 10.60 + 2 \times 5.30 \times 12.40 + 10.60 \times 12.40 \approx 375.24$

$\dfrac{0.16 \times 696.632}{375.24} \approx 0.2970395$

$\dfrac{131.44}{375.24} \approx 0.3502825$

$\dfrac{0.297}{1.07} - 0.350 \times 0.02 \approx 0.2705701$

$\dfrac{0.297}{1.02} - 0.350 \times 0.03 \approx 0.2806765$

$\dfrac{0.297}{0.91} - 0.350 \times 0.08 \approx 0.2983736$

$\dfrac{0.297}{0.84} - 0.350 \times 0.12 \approx 0.3115714$

$\dfrac{0.297}{0.72} - 0.350 \times 0.11 \approx 0.374$

$\dfrac{0.16 \times 696.632}{375.24 \times 0.26 + 131.44 \times 0.03} \approx 1.098079$

$\dfrac{0.16 \times 696.632}{375.24 \times 0.22 + 131.44 \times 0.08} \approx 1.197631$