Corrigé complet — Bac S 2019 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Appareil photographique en mode rafale** Diffraction par une ouverture circulaire · Image numérique et débit binaire · Atténuation d'un signal en décibels · Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme	11 pts	1 h 50	20 questions	p. 2
Ex 2	**Le casse-tête des sportifs pour soigner un rhume** Groupes caractéristiques · Chiralité et carbone asymétrique · Énantiomères et diastéréoisomères · Réaction d'addition et catalyse · Couple acide-base et domaine de prédominance	4 pts	40 min	11 questions	p. 10
Ex 3	**Boissons énergisantes ou énergétiques** Dose journalière admissible · Formule topologique · Spectroscopie RMN du proton · Spectroscopie infrarouge · Acides α-aminés · Diagrammes de prédominance et de distribution	5 pts	50 min	12 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : La qualité de l'eau du robinet, un enjeu de santé publique !** Titrage conductimétrique · Réaction de précipitation · Équivalence d'un titrage · Conductivité d'une solution ionique · Concentration en masse · Résolution de problème	5 pts	50 min	3 questions	p. 19

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.

Appareil photographique en mode rafale

Bac S 2019 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 50**

1.1 Pour une distance focale donnée, quelle est l'influence du diamètre du diaphragme sur le phénomène de diffraction ?

La diffraction est d'autant plus marquée que l'ouverture est petite devant la longueur d'onde : l'angle de diffraction $\theta = 1{,}22\,\dfrac{\lambda}{d}$ augmente quand d diminue.

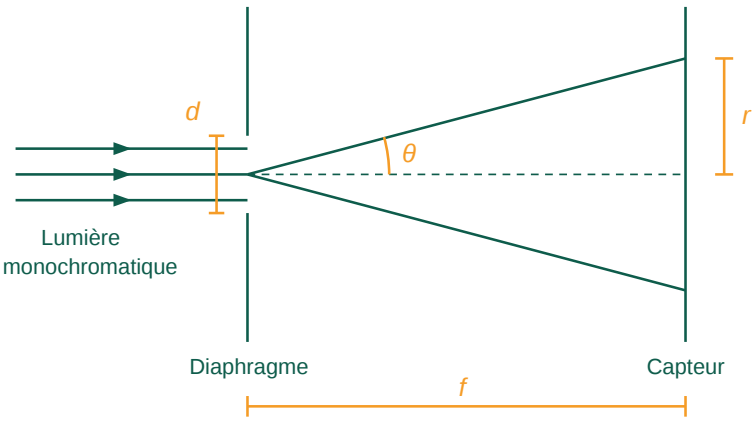
Plus le diamètre d du diaphragme est petit, plus la diffraction est importante ; elle s'atténue quand on ouvre le diaphragme.

1.2.1 Recopier le schéma de la figure 1 et y faire apparaître les longueurs f, d, r et l'angle θ.

Sur le schéma : d est le diamètre de l'ouverture du diaphragme, f la distance entre le diaphragme et le capteur, r le rayon de la tache centrale mesuré sur le capteur à partir de l'axe, θ l'angle entre l'axe et le rayon qui atteint le bord de la tache centrale.

Voir le schéma complété.

PIÈGE
θ est le demi-angle : il se mesure entre l'axe optique et un bord du faisceau diffracté, pas entre les deux bords. De même, r est un rayon, pas la largeur totale de la tache.



1.2.1 · Figure 1 complétée : en orange, ce que l'élève ajoute

1.2.2 Avec l'approximation des petits angles $\tan\theta \approx \theta$, en déduire que $r = 1{,}22\,\dfrac{\lambda f}{d}$.

Dans le triangle rectangle formé par l'axe (longueur f) et le rayon de la tache (longueur r) :

$$\tan\theta = \frac{r}{f} \quad \text{donc, pour un petit angle en radian,} \quad \theta \approx \frac{r}{f}$$

Par ailleurs $\theta = 1{,}22\,\dfrac{\lambda}{d}$. En égalant les deux expressions : $\dfrac{r}{f} = 1{,}22\,\dfrac{\lambda}{d}$

$$r = 1{,}22\,\frac{\lambda f}{d}$$

COMPRENDRE
L'approximation $\tan\theta \approx \theta$ n'est valable que si θ est exprimé en radian. Ici $\theta \approx 5 \times 10^{-5}$ rad : elle est excellente.

1.2.3 Calculer le diamètre d du diaphragme utilisé, puis en déduire le rayon de la tache de diffraction obtenue sur le capteur.

Données utiles $f = 50$ mm ; $N = 4{,}0$; $N = \frac{f}{d}$; $\lambda = 560$ nm

$N = \frac{f}{d}$ donc $d = \frac{f}{N} = \frac{50 \times 10^{-3}}{4{,}0} = 1{,}25 \times 10^{-2}$ m, soit $d \approx 1{,}3 \times 10^{-2}$ m $= 1{,}3$ cm.

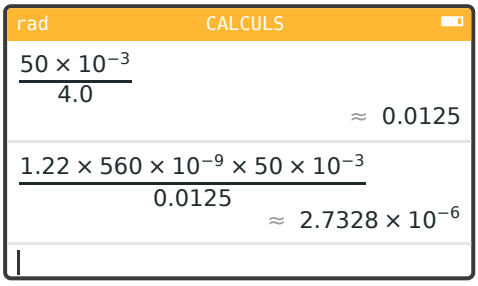
$$r = 1{,}22\,\frac{\lambda f}{d} = 1{,}22 \times \frac{560 \times 10^{-9} \times 50 \times 10^{-3}}{1{,}25 \times 10^{-2}} = 2{,}7 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

$d = 1{,}3$ cm et $r = 2{,}7 \times 10^{-6}$ m $= 2{,}7$ µm

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme f et N. On garde la valeur non arrondie de d pour calculer r : avec $1{,}3 \times 10^{-2}$ m, on trouverait 2,6 µm.

MÉTHODE
Comme $\frac{f}{d} = N$, on a directement $r = 1{,}22\,\lambda N$: la tache ne dépend que du nombre d'ouverture, pas de la focale seule.

À LA CALCULATRICE



1.2.4 La largeur d'un pixel est de 4,3 µm. Comparer la taille des pixels à la dimension de la tache de diffraction dans les conditions de réglage précédentes, puis conclure.

Données utiles $r = 2{,}73$ µm (1.2.3) ; deux objets ponctuels sont distingués si leurs images sont sur des pixels différents

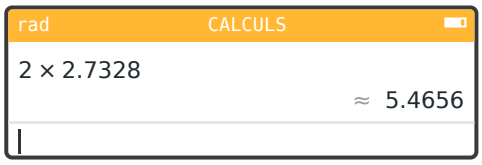
Diamètre de la tache centrale : $2r = 2 \times 2{,}73 = 5{,}5$ µm, alors qu'un pixel mesure 4,3 µm de large.

L'image d'un point n'est donc pas un point : c'est une tache qui déborde sur les pixels voisins. Les taches de deux points dont les images devraient tomber sur deux pixels adjacents se recouvrent en partie.

$2r = 5{,}5$ µm $> 4{,}3$ µm : avec ce réglage, c'est la diffraction, et non la taille des pixels, qui limite la finesse des détails ; deux points très proches ne sont pas correctement distingués.

PIÈGE
Comparer le rayon r (2,7 µm) au pixel conduit à la conclusion inverse. C'est la largeur totale de la tache, donc son diamètre, qui se compare à la largeur du pixel.

À LA CALCULATRICE



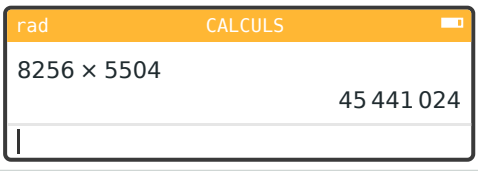
2.1 Quel est le nombre de pixels contenus dans une image ?

Données utiles taille d'image maximale : 8256×5504 pixels

$n = 8256 \times 5504 = 45\,441\,024$ pixels

$n \approx 4{,}544 \times 10^7$ pixels, soit environ 45 millions de pixels.

À LA CALCULATRICE



2.2 En déduire la taille de l'image en bit au format RAW, puis sa nouvelle taille en bit après conversion au format JPEG.

Données utiles $n = 45\,441\,024$ pixels (2.1) ; RAW : 14 bits par pixel ; JPEG : 8 bits par pixel

Taille = nombre de pixels $\times$ nombre de bits par pixel.

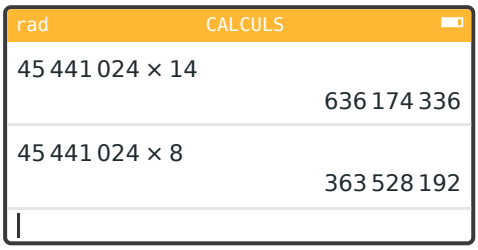
RAW : $45\,441\,024 \times 14 = 6{,}362 \times 10^8$ bits

JPEG : $45\,441\,024 \times 8 = 3{,}635 \times 10^8$ bits

RAW : $6{,}362 \times 10^8$ bits ; JPEG : $3{,}635 \times 10^8$ bits

COMPRENDRE
La valeur RAW est bien « de l'ordre de $6{,}4 \times 10^8$ bits », comme l'annonce la question 2.4. Le sujet ne tient pas compte de la compression du JPEG, qui réduit encore la taille réelle du fichier.

À LA CALCULATRICE



2.3 Déterminer la valeur de la durée qui sépare deux prises de vue.

Données utiles cadence en mode rafale : jusqu'à 9 vues par seconde

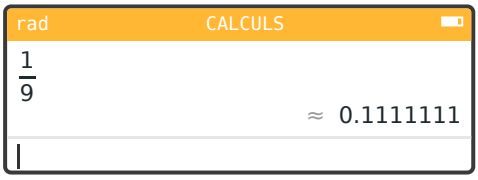
La cadence est une fréquence : $f_{\text{vues}} = 9\ \text{s}^{-1}$. La durée entre deux vues consécutives est la période correspondante :

$$\Delta t = \frac{1}{f_{\text{vues}}} = \frac{1}{9} = 0{,}11\ \text{s}$$

$\Delta t \approx 0{,}11$ s

COMPRENDRE
Autre lecture possible : 9 vues prises en une seconde exactement délimitent 8 intervalles, soit $\Delta t = \frac{1}{8} = 0{,}125$ s. Les deux valeurs sont voisines et mènent aux mêmes conclusions dans la suite.

À LA CALCULATRICE



2.4 Une image RAW a une taille de l'ordre de $6{,}4 \times 10^8$ bits. Montrer que la vitesse d'écriture sur la carte mémoire n'est pas suffisante pour le mode rafale.

Données utiles vitesse d'écriture : jusqu'à 100 Mo/s ; 1 octet = 8 bits ; $\Delta t = 0{,}11$ s (2.3)

Vitesse d'écriture en bit par seconde : $100\ \text{Mo/s} = 100 \times 10^6 \times 8 = 8{,}0 \times 10^8\ \text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$.

Durée d'écriture d'une image RAW :

$$\Delta t_{\text{écr}} = \frac{6{,}4 \times 10^8}{8{,}0 \times 10^8} = 0{,}80\ \text{s}$$

Or une nouvelle image arrive toutes les $0{,}11$ s.

$\Delta t_{\text{écr}} = 0{,}80\ \text{s} > \Delta t = 0{,}11\ \text{s}$: la carte n'a écrit qu'une image quand l'appareil en a déjà pris sept. La vitesse d'écriture est insuffisante.

PIÈGE
Diviser des bits par des octets par seconde. La taille est en bit, la vitesse en Mo/s : il faut d'abord convertir, avec 1 Mo $= 10^6$ octets et 1 octet $= 8$ bits.

COMPRENDRE
Le débit binaire (nombre de bits transmis ou écrits par seconde) ne figure plus au programme actuel de spécialité ; le calcul reste une simple proportionnalité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.4 \times 10^8}{100 \times 10^6 \times 8} \approx 0.8$$

2.5 Quelle(s) solution(s) est-il possible d'envisager pour rendre exploitable le mode rafale ?

- Stocker provisoirement les images dans la mémoire tampon (29 images environ), la carte les écrivant ensuite à son rythme.
- Réduire la taille des fichiers : enregistrer en JPEG (8 bits par pixel au lieu de 14, puis compression) ou choisir une définition d'image plus faible.
- Diminuer la cadence de prise de vue.

Utiliser la mémoire tampon et alléger les fichiers (format JPEG, compression).

COMPRENDRE
La mémoire tampon ne règle le problème que pour une rafale courte : une fois ses 29 images atteintes, la cadence retombe à celle de l'écriture sur la carte.

3.1 Calculer la valeur de l'atténuation du signal lorsque l'appareil photographique se trouve à 10,0 m de l'ordinateur.

Données utiles $A = 32{,}5 + 20\log F + 20\log D$, avec F en GHz et D en m ; $F = 2{,}4$ GHz ; $D = 10{,}0$ m

$$A = 32{,}5 + 20\log(2{,}4) + 20\log(10{,}0) = 32{,}5 + 7{,}6 + 20{,}0 = 60{,}1 \text{ dB}$$

$A = 60{,}1$ dB ≈ 60 dB

PIÈGE
La formule impose ses unités : F en gigahertz et D en mètre. Convertir la fréquence en hertz donnerait une atténuation absurde. Le logarithme est décimal (touche log).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$32.5 + 20 \times \log(2.4) + 20 \times \log(10.0) \approx 60.10422$$

3.2 En déduire la valeur maximale de la puissance que peut recevoir l'ordinateur lorsqu'il est situé à 10,0 m de l'appareil photographique.

Données utiles $A = 10\log\frac{P_e}{P_r}$; $A = 60{,}1$ dB (3.1) ; puissance d'émission maximale $P_e = 7{,}08$ mW

$A = 10\log\frac{P_e}{P_r}$ donc $\log\frac{P_e}{P_r} = \frac{A}{10}$, soit $\frac{P_e}{P_r} = 10^{A/10}$ et

$$P_r = \frac{P_e}{10^{A/10}} = \frac{7{,}08 \times 10^{-3}}{10^{60{,}1/10}} = 6{,}9 \times 10^{-9} \text{ W}$$

La puissance reçue est maximale lorsque la puissance émise est maximale.

$P_r \approx 6{,}9 \times 10^{-9}$ W, soit environ 7 nW.

COMPRENDRE
Avec A arrondie à 60 dB, on obtient $7{,}08 \times 10^{-9}$ W : même ordre de grandeur. 60 dB signifie que la puissance est divisée par 10^6.

MÉTHODE
Pour isoler une grandeur placée dans un logarithme décimal : diviser par le coefficient, puis utiliser $\log x = a \Leftrightarrow x = 10^a$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{7.08 \times 10^{-3}}{10^{\frac{60.1}{10}}} \approx 6.91884 \times 10^{-9}$$

3.3 Que dire de la valeur de la puissance réellement reçue dans le cas d'une transmission à l'intérieur d'un logement ?

La formule de l'atténuation vaut pour un espace libre, sans obstacle. Dans un logement, les murs, les cloisons et les meubles absorbent ou réfléchissent une partie du signal, et d'autres appareils peuvent créer des interférences : l'atténuation est plus forte.

La puissance réellement reçue est inférieure à la valeur maximale calculée ($6{,}9 \times 10^{-9}$ W).

3.4.1 Calculer la durée nécessaire pour transférer les 20 photographies au format RAW dans la norme IEEE 802.11g, la taille moyenne d'une image étant de l'ordre de $6{,}4 \times 10^8$ bits.

Données utiles 20 images de $6{,}4 \times 10^8$ bits ; débit maximal théorique $D_g = 54\ \text{Mbit/s}$

Quantité de données : $N = 20 \times 6{,}4 \times 10^8 = 1{,}28 \times 10^{10}$ bits.

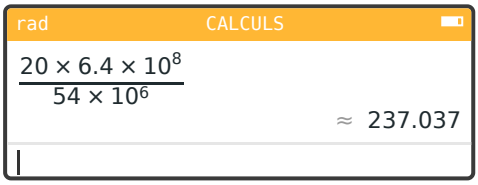
Débit : $D_g = 54\ \text{Mbit/s} = 54 \times 10^6\ \text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\Delta t_g = \frac{N}{D_g} = \frac{1{,}28 \times 10^{10}}{54 \times 10^6} = 2{,}4 \times 10^2\ \text{s}$$

$\Delta t_g \approx 2{,}4 \times 10^2$ s, soit environ 4 min.

COMPRENDRE
C'est une durée minimale : 54 Mbit/s est un débit maximal théorique, rarement atteint en pratique (voir 3.3).

À LA CALCULATRICE



3.4.2 Au début des années 2000, la norme la plus courante avait un débit maximal théorique de 11 Mbit/s. Calculer la durée alors nécessaire pour transférer ces 20 photographies. Commenter.

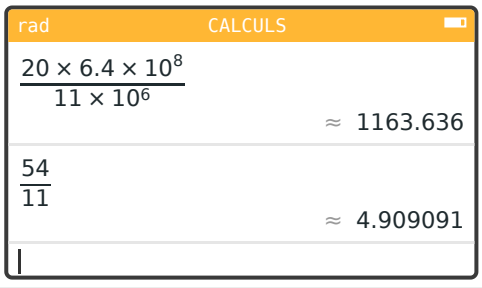
Données utiles $N = 1{,}28 \times 10^{10}$ bits (3.4.1) ; $D_b = 11\ \text{Mbit/s}$; $\Delta t_g = 2{,}4 \times 10^2$ s (3.4.1)

$$\Delta t_b = \frac{N}{D_b} = \frac{1{,}28 \times 10^{10}}{11 \times 10^6} = 1{,}2 \times 10^3\ \text{s}$$

soit environ 19 min. Rapport des durées : $\dfrac{\Delta t_b}{\Delta t_g} = \dfrac{54}{11} \approx 4{,}9$.

$\Delta t_b \approx 1{,}2 \times 10^3$ s (19 min) : le transfert était environ 5 fois plus long qu'avec la norme 802.11g ; l'évolution des normes a nettement raccourci les transferts.

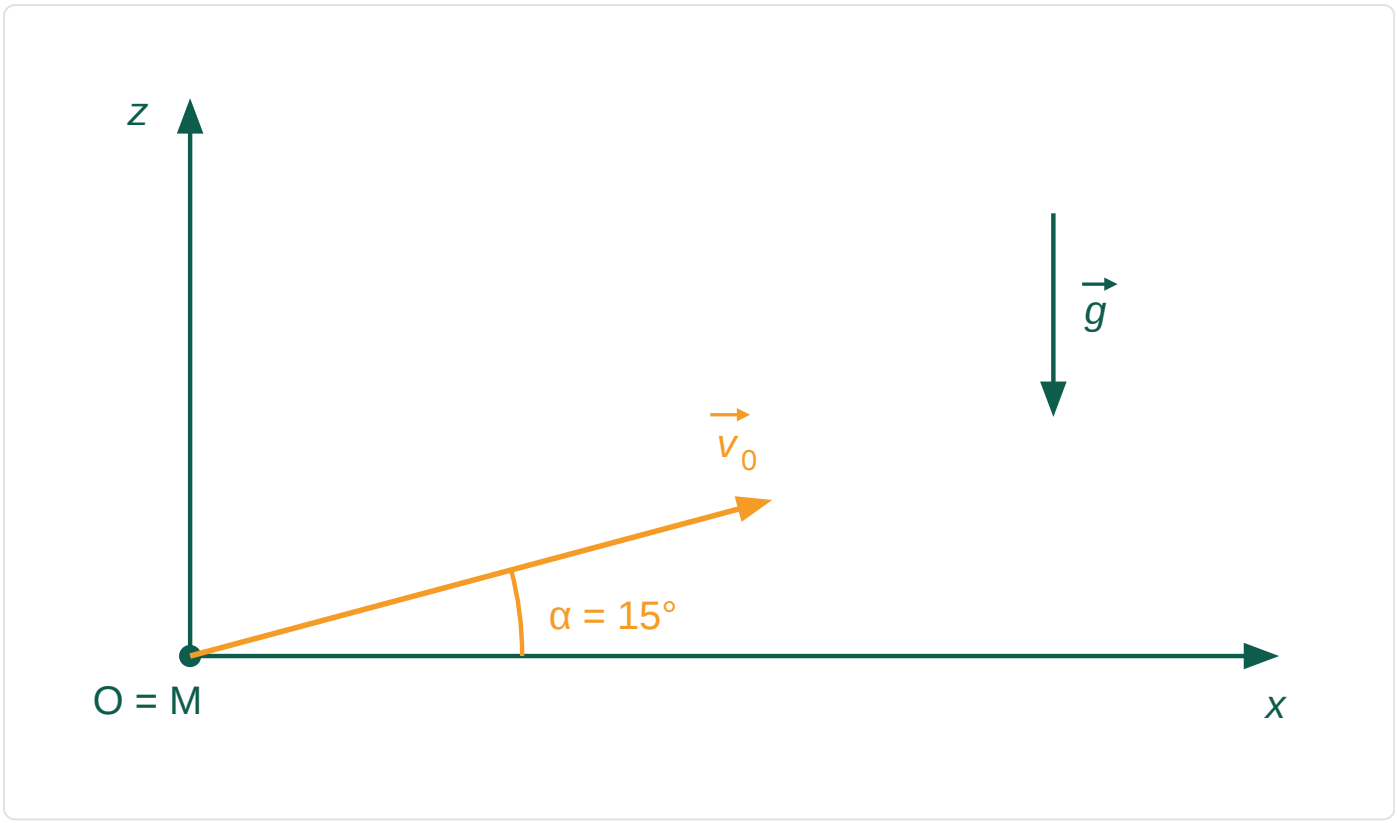
À LA CALCULATRICE



4.1 Schématiser la situation à l'instant initial en faisant apparaître les grandeurs physiques pertinentes.

Sur le schéma : le repère (xOz) avec (Ox) horizontal et (Oz) vertical vers le haut ; le point M en O à $t = 0$; le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$, incliné de $\alpha = 15^\circ$ au-dessus de l'horizontale ; le champ de pesanteur $\vec{g}$, vertical vers le bas.

Voir le schéma.



4.1 · Situation à l'instant initial

4.2 En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les composantes du vecteur accélération du skateur.

Système : le skateur, point matériel M de masse m constante.
Référentiel terrestre supposé galiléen.

Bilan des forces : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ seul (frottements négligés).

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical, vers le bas, alors que (Oz) est orienté vers le haut. En projetant :

$a_x = 0$ et $a_z = -g$

PIÈGE
Oublier le signe : l'axe (Oz) est ascendant, donc $a_z = -g$ avec $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ positif. Le système, le référentiel et le bilan des forces font partie de la réponse.

COMPRENDRE
L'ancien programme écrivait la deuxième loi $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \dfrac{\text{d}\vec{p}}{\text{d}t}$; à masse constante, elle se ramène à $m\,\vec{a}$, seule forme au programme actuel.

4.3 Montrer, en détaillant chaque étape, que les équations horaires du point M s'écrivent $x(t) = v_0 \cos\alpha\, t$ et $z(t) = -\frac{1}{2} g\, t^2 + v_0 \sin\alpha\, t$.

Vitesse. Comme $\vec{a} = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de $a_x = 0$ et $a_z = -g$:

$$v_x(t) = C_1 \qquad v_z(t) = -g\, t + C_2$$

À $t = 0$, $\vec{v}(0) = \vec{v_0}$ de coordonnées $v_0 \cos\alpha$ et $v_0 \sin\alpha$, donc $C_1 = v_0 \cos\alpha$ et $C_2 = v_0 \sin\alpha$:

$$v_x(t) = v_0 \cos\alpha \qquad v_z(t) = -g\, t + v_0 \sin\alpha$$

Position. Comme $\vec{v} = \frac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$, on cherche de nouveau les primitives :

$$x(t) = v_0 \cos\alpha\, t + C_3 \qquad z(t) = -\frac{1}{2} g\, t^2 + v_0 \sin\alpha\, t + C_4$$

À $t = 0$, M est en O : $x(0) = 0$ et $z(0) = 0$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = 0$.

$$\boxed{x(t) = v_0 \cos\alpha\, t \text{ et } z(t) = -\frac{1}{2} g\, t^2 + v_0 \sin\alpha\, t}$$

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : accélération, primitive, constante fixée par la vitesse initiale ; puis vitesse, primitive, constante fixée par la position initiale. Chaque constante doit être justifiée par une condition initiale.

4.4 Déterminer la valeur de l'instant t_1 auquel le skateur atteint sa hauteur maximale et celle de l'instant t_2 où il retombe au sol.

Données utiles $v_0 = 20\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$; $\alpha = 15^\circ$; $g = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

Conversion : $v_0 = \frac{20}{3{,}6} = 5{,}56\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Sommet. Au point le plus haut, la vitesse est horizontale : $v_z(t_1) = 0$, soit $-g\, t_1 + v_0 \sin\alpha = 0$.

$$t_1 = \frac{v_0 \sin\alpha}{g} = \frac{5{,}56 \times \sin(15^\circ)}{9{,}81} = 0{,}15\ \mathrm{s}$$

Retour au sol. $z(t_2) = 0$ avec $t_2 \neq 0$: $t_2 \left(-\frac{1}{2} g\, t_2 + v_0 \sin\alpha\right) = 0$, donc

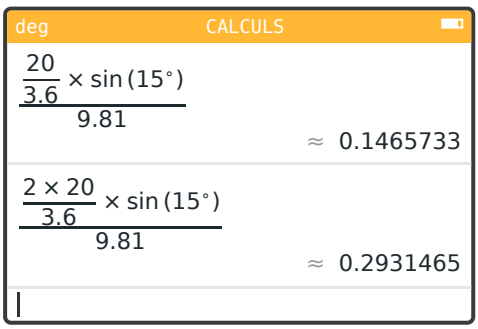
$$t_2 = \frac{2\, v_0 \sin\alpha}{g} = 2\, t_1 = 0{,}29\ \mathrm{s}$$

$$\boxed{t_1 = 0{,}15\ \mathrm{s} \text{ et } t_2 = 0{,}29\ \mathrm{s}}$$

PIÈGE
Laisser v_0 en km/h, ou la calculatrice en radian. Doubler la valeur arrondie de t_1 donne 0,30 s : il faut doubler la valeur non arrondie.

COMPRENDRE
$t_2 = 2\, t_1$: la parabole est symétrique par rapport à la verticale passant par le sommet, la montée dure autant que la descente. Le sol est ici supposé à l'altitude du point O.

À LA CALCULATRICE



4.5 Déterminer le nombre de photographies obtenues entre le début du saut et l'arrivée du skateur sur le sol. Commenter.

Données utiles cadence : 9 vues par seconde, rafale déclenchée à $t = 0$; $t_2 = 0{,}29$ s (4.4)

Pendant la durée du saut, l'appareil réalise $9 \times 0{,}29 = 2{,}6$ intervalles entre vues, soit 2 intervalles complets.

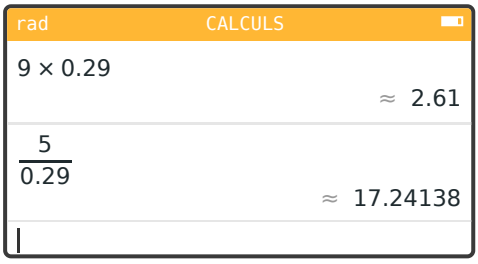
Les clichés sont pris à $t = 0$; $0{,}11$ s ; $0{,}22$ s. Le suivant ($0{,}33$ s) arrive après le retour au sol.

3 photographies en comptant celle du déclenchement, soit 2 seulement après le départ. C'est trop peu pour décomposer le saut comme sur la série de six clichés de l'introduction : il faudrait une cadence environ deux fois plus élevée, ou un saut plus long.

COMPRENDRE

Six clichés sur la durée du saut représentent 5 intervalles en 0,29 s, soit environ 17 vues par seconde. Selon que l'on compte ou non le cliché pris à $t = 0$, on annonce 3 ou 2 photographies : préciser son choix.

À LA CALCULATRICE



Le casse-tête des sportifs pour soigner un rhume

Bac S 2019 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 40 min**

1.1 Justifier que l'éphédrine a une structure voisine de celle de l'adrénaline.

Les deux molécules ont le même enchaînement : un cycle benzénique relié à un carbone qui porte un groupe hydroxyle $-OH$, avec la même disposition spatiale, puis un second carbone relié à un groupe $-NH-CH_3$.

Seules différences : l'adrénaline porte deux groupes $-OH$ sur le cycle, l'éphédrine un groupe méthyle sur le carbone voisin de l'azote.

Même squelette et mêmes groupes $-OH$ et $-NH-CH_3$ sur la chaîne : les structures sont voisines.

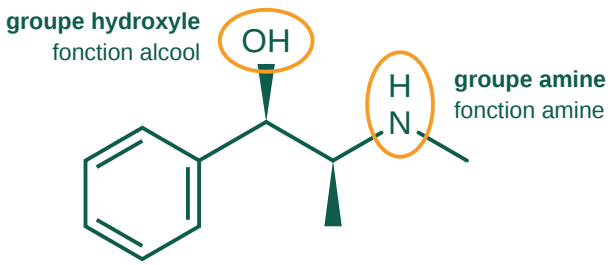
MÉTHODE
Pour comparer deux structures, citer d'abord ce qui est commun (squelette, groupes, disposition spatiale), puis les différences. Une réponse limitée à « elles se ressemblent » ne rapporte rien.

1.2 Recopier la formule de l'éphédrine, entourer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions associées.

Voir la formule ci-dessous, avec les deux groupes entourés.

Groupe hydroxyle $-OH$: fonction **alcool** ; groupe amine $-NH-$: fonction **amine**.

PIÈGE
Le cycle benzénique n'est pas un groupe caractéristique. Ne pas confondre amine et amide : il n'y a pas de groupe $C=O$ à côté de l'azote.



1.2 · Éphédrine : groupes caractéristiques entourés

1.3 La molécule d'éphédrine est-elle chirale ? Justifier.

Une molécule est chirale si elle ne peut pas être superposée à son image dans un miroir plan.

L'éphédrine possède deux atomes de carbone asymétriques (liés chacun à quatre groupes différents) : celui qui porte $-OH$ et celui qui porte $-CH_3$. Elle ne présente ni plan ni centre de symétrie.

L'éphédrine est **chirale**.

PIÈGE
Avec deux carbones asymétriques, la chiralité n'est pas automatique : il faut ajouter que la molécule n'a pas d'élément de symétrie. Avec un seul carbone asymétrique, la molécule est toujours chirale.

COMPRENDRE
Carbone asymétrique, chiralité, énantiomérie et diastéréoisomérie figuraient au programme de Terminale S ; ces notions ne sont plus au programme actuel de la spécialité.

1.4 Parmi les molécules I, II et III, identifier l'énantiomère de l'éphédrine (1R, 2S). Justifier.

Deux énantiomères sont images l'un de l'autre dans un miroir plan et non superposables.

En prenant le plan de la feuille comme miroir, chaque liaison en avant (trait plein épais) devient une liaison en arrière (pointillés) : les deux carbones asymétriques changent de configuration. Dans la molécule II, $-\mathrm{OH}$ et $-\mathrm{CH_3}$ sont tous deux en arrière.

L'énantiomère de l'éphédrine est la **molécule II**.

MÉTHODE
Sur des représentations de Cram dessinées de la même façon, l'énantiomère s'obtient en inversant toutes les liaisons en avant et en arrière. Si une partie seulement est inversée, ce n'est pas l'énantiomère.

1.5 Quelle relation de stéréoisomérie existe-t-il entre l'éphédrine (1R, 2S) et les deux pseudo-éphédrines ? Justifier.

Les molécules I et III ont le même enchaînement d'atomes que l'éphédrine, mais un seul carbone asymétrique a changé de configuration : celui qui porte $-\mathrm{OH}$ dans I, celui qui porte $-\mathrm{CH_3}$ dans III.

Ce sont des stéréoisomères de configuration de l'éphédrine qui n'en sont pas l'image dans un miroir.

L'éphédrine et chaque pseudo-éphédrine sont **diastéréoisomères**.

COMPRENDRE
Les molécules I et III sont, elles, énantiomères l'une de l'autre. Des diastéréoisomères ont des propriétés physiques et biologiques différentes, d'où deux noms distincts.

2.1 À quelle catégorie de réaction la dernière étape de la synthèse correspond-elle ? Justifier.

Les atomes de la molécule de dihydrogène se fixent sur le carbone et l'azote de la double liaison $\mathrm{C{=}N}$, qui devient une liaison simple $\mathrm{C{-}N}$. Deux réactifs donnent un seul produit.

C'est une réaction d'**addition**.

MÉTHODE
Addition : une liaison multiple disparaît, un seul produit. Élimination : une liaison multiple apparaît, une petite molécule est libérée. Substitution : un atome ou groupe en remplace un autre.

2.2 Quel est le rôle du nickel de Raney ?

Le nickel de Raney est écrit sur la flèche : il n'est ni un réactif ni un produit de l'équation. Il accélère la réaction et se retrouve intact à la fin.

Le nickel de Raney est un **catalyseur**.

COMPRENDRE
Le nickel est solide alors que les réactifs sont en solution ou gazeux : il s'agit d'une catalyse hétérogène.

2.3 Le produit est obtenu sous forme d'un mélange racémique. Si on obtient 10 g de produit purifié, quelle masse d'éphédrine contient-il ?

Données utiles $m_{\text{produit}} = 10$ g ; dans le réactif, le carbone qui porte $-\mathrm{OH}$ a la configuration de celui de l'éphédrine.

Le carbone qui porte $-\mathrm{OH}$ n'est pas modifié. Le second carbone asymétrique est créé par l'addition, dans ses deux configurations en quantités égales : la moitié seulement du produit est l'éphédrine (1R, 2S).

$$m_{\text{éphédrine}} = \frac{m_{\text{produit}}}{2} = \frac{10}{2}$$

$m_{\text{éphédrine}} = 5{,}0$ g

COMPRENDRE
L'autre moitié est la molécule III (1R, 2R), un diastéréoisomère. Un mélange racémique désigne en toute rigueur deux énantiomères en quantités égales : le sujet emploie ici le mot pour « mélange à parts égales », le résultat est le même.

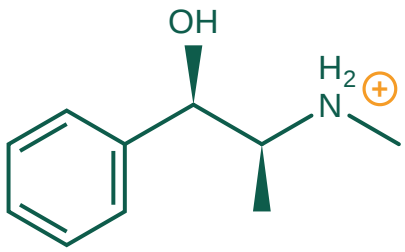
COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse de 10 g donnée par l'énoncé.

3.1 Donner la formule topologique de l'acide conjugué de l'éphédrine.

L'acide conjugué $\mathrm{BH^+}$ s'obtient en ajoutant un ion $\mathrm{H^+}$ à la base B. Cet ion se fixe sur le doublet non liant de l'atome d'azote, qui porte alors deux atomes d'hydrogène et une charge positive.

Formule topologique ci-dessous : le groupe $-\mathrm{NH}-$ est devenu $-\mathrm{NH_2^+}-$.

PIÈGE
Oublier la charge positive, ou placer l'ion $\mathrm{H^+}$ sur l'oxygène : l'énoncé précise que la basicité vient du doublet de l'azote.



l'azote a capté un proton : deux H et une charge +

3.1 · Acide conjugué de l'éphédrine, noté $\mathrm{BH^+}$

3.2 Proposer un réactif permettant de passer de l'éphédrine à son acide conjugué et écrire l'équation de la réaction.

Il faut un acide, capable de céder un ion $\mathrm{H^+}$ à la base B : par exemple l'ion oxonium $\mathrm{H_3O^+}$ apporté par une solution d'acide chlorhydrique.

$$\mathrm{B\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow BH^+\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

COMPRENDRE
Le $\mathrm{p}K_a$ du couple $\mathrm{H_3O^+/H_2O}$ vaut 0, très inférieur à 9,65 : la réaction est quasi totale, d'où la flèche simple. On obtient le chlorhydrate d'éphédrine, forme ionique utilisée dans les médicaments.

3.3 La forme prédominante de l'éphédrine dans le sang peut-elle être correctement absorbée par l'organisme ?

Données utiles $\mathrm{p}K_a(\mathrm{BH^+/B}) = 9{,}65$; pH du sang entre 7,32 et 7,42

Dans le sang, $\mathrm{pH} \leqslant 7{,}42 < \mathrm{p}K_a = 9{,}65$: c'est la forme acide $\mathrm{BH^+}$ qui prédomine.

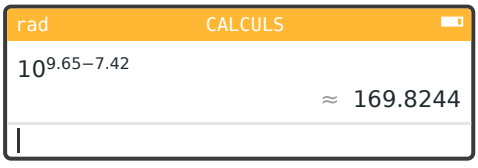
$\mathrm{BH^+}$ est une espèce ionique, donc hydrosoluble. D'après les données, les espèces ioniques sont mieux absorbées par l'organisme.

Oui : la forme prédominante, $\mathrm{BH^+}$, est ionique et correctement absorbée.

COMPRENDRE
Ici $\dfrac{[\mathrm{BH^+}]}{[\mathrm{B}]} = 10^{\mathrm{p}K_a - \mathrm{pH}} \approx 170$ à pH 7,42 : la forme basique B est négligeable dans le sang.

MÉTHODE
Comparer le pH au $\mathrm{p}K_a$: si $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$ l'acide prédomine, si $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$ c'est la base. Un axe de pH avec la frontière à 9,65 suffit à justifier.

À LA CALCULATRICE



Boissons énergisantes ou énergétiques

Bac S 2019 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Quelles différences de composition chimique existe-t-il entre boisson énergisante et boisson énergétique ?

D'après le tableau, la boisson énergisante A contient des stimulants (caféine, taurine, glucuronolactone), des vitamines du groupe B et beaucoup de sucre (10,8 g pour 100 mL).

Les boissons énergétiques B et C ne contiennent aucun de ces stimulants. Elles sont environ deux fois moins sucrées (4,1 g et 5,7 g pour 100 mL) et apportent des sels minéraux ; la boisson C contient en plus des acides α-aminés et d'autres vitamines (C et B1).

Seule la boisson énergisante contient des stimulants et elle est plus sucrée ; seules les boissons énergétiques apportent des sels minéraux (et des acides α-aminés pour C).

MÉTHODE
Pour comparer à partir d'un tableau, procéder ligne par ligne et citer les valeurs : ce qui est présent d'un seul côté, puis ce qui est présent des deux côtés en quantités différentes.

1.2 Quel volume de boisson énergisante A un jeune adulte peut-il consommer par jour sans risque pour sa santé ? Commenter et expliquer pourquoi ces boissons font l'objet d'une surveillance.

Données utiles pour 100 mL de A : caféine 32 mg, taurine 400 mg, glucuronolactone 240 mg ; DJA : taurine 3, caféine 5, glucuronolactone 17 à 34 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$

Hypothèse : le jeune adulte a une masse $m = 70$ kg.

Pour chaque espèce, la masse maximale par jour est $m_{\max} = \text{DJA} \times m$. Comme 100 mL de boisson en contiennent la masse m_A, le volume correspondant est

$$V = \frac{\text{DJA} \times m}{m_A} \times 100 \text{ mL}$$

- Taurine : $m_{\max} = 3 \times 70 = 210$ mg, donc $V = \frac{210}{400} \times 100 \approx 53$ mL.
- Caféine : $m_{\max} = 5 \times 70 = 350$ mg, donc $V = \frac{350}{32} \times 100 \approx 1{,}1 \times 10^3$ mL, soit 1,1 L.
- Glucuronolactone (valeur basse de la DJA) : $m_{\max} = 17 \times 70 = 1\,190$ mg, donc $V = \frac{1\,190}{240} \times 100 \approx 5{,}0 \times 10^2$ mL.

Les trois limites doivent être respectées en même temps : c'est la taurine, atteinte la première, qui fixe le volume.

Commentaire : ce volume est très faible, à peine quelques gorgées. Un consommateur dépasse donc très facilement la dose admissible en taurine, et celle en glucuronolactone dès un demi-litre. Ce dépassement courant, ajouté aux 257 cas d'effets indésirables signalés (cardiovasculaires, neurologiques…), justifie la surveillance de ces boissons.

$V_{\max} \approx 50$ mL de boisson A par jour pour un adulte de 70 kg, limite imposée par la taurine.

PIÈGE
S'arrêter à la caféine parce qu'elle est le stimulant le plus connu. Il faut calculer le volume pour chacune des trois espèces et retenir le plus petit.

COMPRENDRE
La DJA de la taurine n'a qu'un chiffre significatif et la masse de 70 kg est une estimation : seul l'ordre de grandeur compte, environ 50 mL. Une canette usuelle de 250 mL apporte près de cinq fois la dose admissible en taurine.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer l'hypothèse (masse corporelle), écrire la relation littérale, traiter chaque espèce, conclure par la plus contraignante, puis commenter en reliant le résultat au texte.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3 \times 70}{400} \times 100 \approx 52.5$

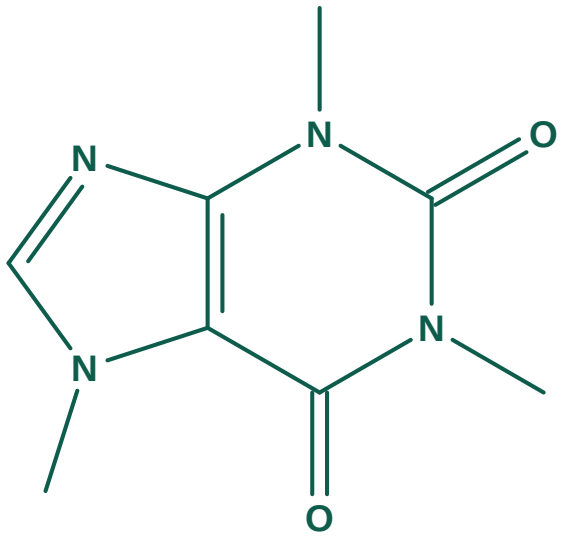
$\frac{5 \times 70}{32} \times 100 \approx 1093.75$

$\frac{17 \times 70}{240} \times 100 \approx 495.8333$

2.1 Dessiner la caféine en utilisant un autre mode de représentation dont on précisera le nom.

On utilise la formule topologique : la chaîne carbonée est une ligne brisée, chaque sommet ou extrémité libre représente un atome de carbone, et les atomes d'hydrogène liés aux carbones ne sont pas écrits. Les atomes N et O restent écrits.

Formule topologique de la caféine : voir la figure.



2.1 · Formule topologique de la caféine

PIÈGE

Oublier un groupe méthyle : il y en a trois, chacun représenté par un simple trait partant d'un atome d'azote. Vérifier aussi les quatre doubles liaisons (deux $C{=}O$, une $C{=}C$, une $C{=}N$).

MÉTHODE

Pour contrôler une formule topologique, recompter les atomes : la caféine doit garder 8 atomes de carbone, 4 d'azote et 2 d'oxygène, soit $C_8H_{10}N_4O_2$.

2.2 Prévoir le nombre de signaux du spectre RMN de la caféine ainsi que leurs multiplicités, en justifiant.

Des protons équivalents (même environnement chimique) donnent un seul signal. La caféine possède quatre groupes de protons équivalents :

- les trois protons de chacun des trois groupes CH_3, liés à trois atomes d'azote d'environnements différents (trois groupes) ;
- le proton du groupe CH du cycle à cinq atomes.

Multiplicité : un groupe de protons ayant n protons voisins (portés par les atomes de carbone voisins) donne un signal à $n+1$ pics. Ici, chaque groupe est lié à un atome d'azote ou entouré d'atomes sans hydrogène : $n=0$ pour tous.

Le spectre RMN comporte 4 signaux, tous des singulets.

PIÈGE
Regrouper les trois CH_3 en un seul signal. Ils ne sont pas équivalents : leurs atomes d'azote n'ont pas les mêmes voisins dans la molécule.

COMPRENDRE
La courbe d'intégration donnerait des sauts dans les rapports 3, 3, 3 et 1, proportionnels au nombre de protons de chaque groupe.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN du proton figurait au programme de Terminale S ; elle n'est plus au programme actuel de la spécialité physique-chimie.

2.3 Montrer que le spectre infrarouge de la figure 1 peut être celui de la caféine.

Données utiles table infrarouge : $C{=}O$ amide 1650 - 1740 cm^{-1} (forte) ; $C{=}C$ 1620 - 1690 cm^{-1} ; $C{-}H$ 2900 - 3100 cm^{-1}

La caféine possède des liaisons $C{=}O$ de type amide (carbone lié à un azote), une liaison $C{=}C$ et des liaisons $C{-}H$. Elle n'a aucune liaison $O{-}H$ ni $N{-}H$.

Sur le spectre, on repère :

- des bandes fortes entre 1650 et 1700 cm^{-1} : liaisons $C{=}O$ amide (la liaison $C{=}C$ absorbe dans la même zone) ;
- une bande forte vers 2950 cm^{-1} : liaisons $C{-}H$;
- aucune bande forte au-delà de 3100 cm^{-1} : pas de liaison $O{-}H$ ni $N{-}H$.

Les bandes présentes et absentes correspondent aux liaisons de la caféine : le spectre peut être le sien.

PIÈGE
L'axe des nombres d'onde est gradué de droite à gauche et son échelle change à 2000 cm^{-1}. Une bande est un creux de transmittance, pas un sommet.

MÉTHODE
Lister d'abord les liaisons de la molécule, puis chercher chaque bande dans le spectre. L'absence d'une bande attendue ailleurs (ici $O{-}H$ et $N{-}H$) est aussi un argument.

2.4 La spectroscopie infrarouge permet-elle de distinguer la caféine de la taurine ? Argumenter.

La taurine possède des liaisons $O{-}H$, $N{-}H$ (amine) et $S{=}O$, mais aucune liaison $C{=}O$. Son spectre présenterait donc :

- des bandes au-delà de 3100 cm^{-1} (liaisons $N{-}H$ entre 3100 et 3500 cm^{-1}, bande large de la liaison $O{-}H$), absentes du spectre de la caféine ;
- une bande entre 1200 et 1350 cm^{-1} due aux liaisons $S{=}O$;
- aucune bande forte entre 1650 et 1740 cm^{-1}, alors que la caféine en présente (liaisons $C{=}O$).

Oui : les deux molécules n'ont pas les mêmes liaisons, leurs spectres infrarouges sont nettement différents.

COMPRENDRE
Le critère le plus sûr est la zone 1650 - 1740 cm^{-1}. En dessous de 1500 cm^{-1}, les bandes sont nombreuses pour toute molécule : la bande $S{=}O$ seule serait un argument fragile.

3.1 Justifier que la leucine, l'isoleucine et la valine appartiennent à la famille des acides α-aminés.

Chacune des trois molécules possède un groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ (fonction acide carboxylique) et un groupe amino $-\mathrm{NH_2}$ (fonction amine).

Dans les trois cas, le groupe $-\mathrm{NH_2}$ est porté par l'atome de carbone voisin de celui du groupe carboxyle, appelé carbone α.

Un groupe $-\mathrm{COOH}$ et un groupe $-\mathrm{NH_2}$ portés par le même atome de carbone : ce sont des acides α-aminés.

PIÈGE
Citer les deux groupes ne justifie que « acide aminé ». Le α précise la position : le groupe amino est sur le carbone directement lié au groupe carboxyle.

3.2.1 Donner la formule semi-développée de l'acide éthanoïque et de l'ion éthanoate, puis établir sur un axe gradué en pH les domaines de prédominance de ce couple.

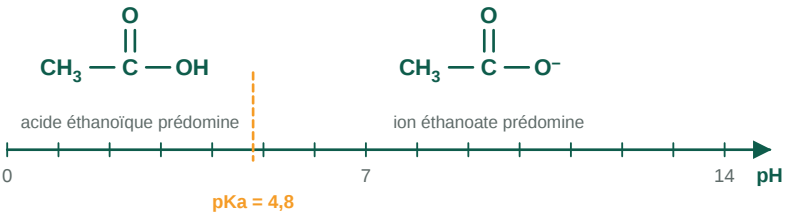
Données utiles $\mathrm{p}K_a = 4{,}8$ pour le couple de l'acide éthanoïque

Acide éthanoïque : $\mathrm{CH_3-COOH}$; base conjuguée, ion éthanoate : $\mathrm{CH_3-COO^-}$. Les formules semi-développées, avec la double liaison C=O apparente, sont tracées sur la figure.

Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$, la forme acide prédomine ; pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$, c'est la forme basique.

$\mathrm{CH_3-COOH}$ prédomine pour $\mathrm{pH} < 4{,}8$; $\mathrm{CH_3-COO^-}$ prédomine pour $\mathrm{pH} > 4{,}8$.

COMPRENDRE
Cela vient de $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a + \log\dfrac{[\mathrm{A^-}]}{[\mathrm{AH}]}$: si $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$, le logarithme est négatif, donc $[\mathrm{AH}] > [\mathrm{A^-}]$.



3.2.1 · Formules semi-développées et diagramme de prédominance du couple acide éthanoïque / ion éthanoate

3.2.2 Identifier, sur le diagramme de distribution, la courbe de l'ion méthylammonium et celle de la méthylamine, puis déterminer le $\mathrm{p}K_a$ du couple en explicitant la démarche.

L'ion méthylammonium $\mathrm{CH_3NH_3^+}$ est l'acide du couple : il prédomine en milieu acide. Sa courbe est celle qui vaut 100 % aux faibles pH puis décroît : la courbe en pointillés.

La méthylamine $\mathrm{CH_3NH_2}$ est la base : sa courbe part de 0 % et atteint 100 % aux pH élevés. C'est la courbe en tirets.

Au croisement des deux courbes, chaque forme représente 50 % : $[\mathrm{CH_3NH_3^+}] = [\mathrm{CH_3NH_2}]$, donc

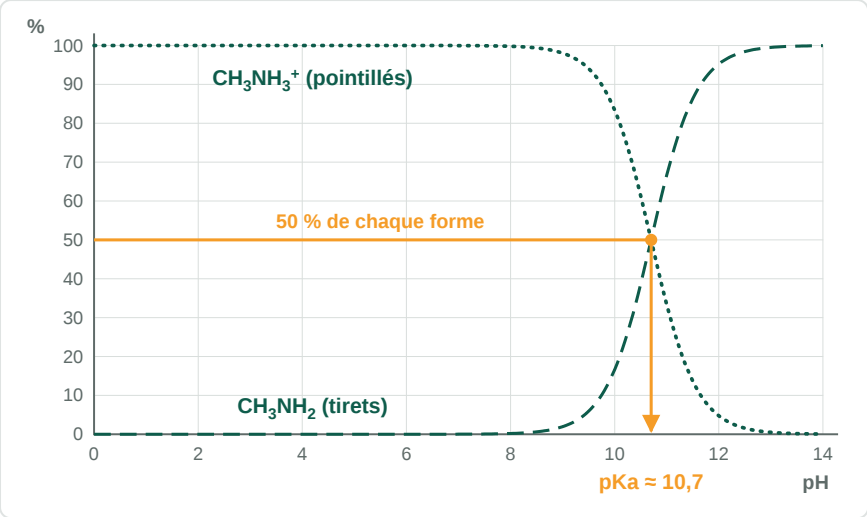
$$\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a + \log\frac{[\mathrm{CH_3NH_2}]}{[\mathrm{CH_3NH_3^+}]} = \mathrm{p}K_a + \log 1 = \mathrm{p}K_a$$

On lit l'abscisse du point de croisement.

Pointillés : $\mathrm{CH_3NH_3^+}$; tirets : $\mathrm{CH_3NH_2}$; $\mathrm{p}K_a \approx 10{,}7$.

COMPRENDRE
La graduation est de 2 unités de pH par intervalle : la lecture est précise à environ 0,2 près. Toute valeur comprise entre 10,5 et 11 est acceptable.

MÉTHODE
Sur un diagramme de distribution, le $\mathrm{p}K_a$ est l'abscisse du point où les deux courbes se coupent, à 50 %. Tracer l'horizontale à 50 % puis descendre à la verticale.



3.2.2 · Diagramme de distribution du sujet, avec la lecture du pKa au croisement des courbes

3.2.3 Associer les deux valeurs de $\mathrm{p}K_a$ de la valine aux deux couples acide/base correspondants.

Données utiles $\mathrm{p}K_{A1} = 2{,}3$; $\mathrm{p}K_{A2} = 9{,}7$; acide éthanoïque : 4,8 ; méthylammonium : 10,7 (3.2.2)

Par analogie, le groupe carboxyle se comporte comme l'acide éthanoïque ($\mathrm{p}K_a$ faible, 4,8) et le groupe amino comme la méthylamine ($\mathrm{p}K_a$ élevé, 10,7).

- $\mathrm{p}K_{A1} = 2{,}3$: couple du groupe carboxyle, $-\mathrm{COOH}$ / $-\mathrm{COO}-$.
- $\mathrm{p}K_{A2} = 9{,}7$: couple du groupe amino, $-\mathrm{NH_3}^+$ / $-\mathrm{NH_2}$.

En notant R le groupe $(\mathrm{CH_3})_2\mathrm{CH}^-$, les trois formes de la valine sont :

- cation $\mathrm{AH_2}^+$: $\mathrm{R}-\mathrm{CH}(\mathrm{NH_3}^+)-\mathrm{COOH}$;
- amphion $\mathrm{AH}^\pm$: $\mathrm{R}-\mathrm{CH}(\mathrm{NH_3}^+)-\mathrm{COO}^-$;
- anion A^- : $\mathrm{R}-\mathrm{CH}(\mathrm{NH_2})-\mathrm{COO}^-$.

$\mathrm{p}K_{A1} = 2{,}3$: couple $\mathrm{AH_2}^+$ / $\mathrm{AH}^\pm$ (groupe carboxyle) ; $\mathrm{p}K_{A2} = 9{,}7$: couple $\mathrm{AH}^\pm$ / A^- (groupe amino).

COMPRENDRE
L'amphion (ou zwitterion) porte une charge $+$ et une charge $-$: il est globalement neutre. Il est la base du premier couple et l'acide du second : c'est une espèce amphotère.

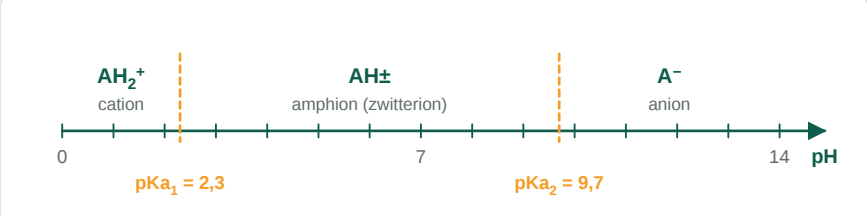
3.2.4 Établir sur un axe gradué en pH les domaines de prédominance des trois formes associées à la valine.

Données utiles $\mathrm{p}K_{A1} = 2{,}3$; $\mathrm{p}K_{A2} = 9{,}7$; formes $\mathrm{AH_2}^+$, $\mathrm{AH}^\pm$, A^- (3.2.3)

Chaque $\mathrm{p}K_a$ sépare les domaines de l'acide (à gauche) et de la base (à droite) du couple correspondant.

$\mathrm{AH_2}^+$ prédomine pour $\mathrm{pH} < 2{,}3$; $\mathrm{AH}^\pm$ pour $2{,}3 < \mathrm{pH} < 9{,}7$; A^- pour $\mathrm{pH} > 9{,}7$.

PIÈGE
Placer la molécule neutre $\mathrm{R}-\mathrm{CH}(\mathrm{NH_2})-\mathrm{COOH}$ sur le diagramme : cette forme ne prédomine à aucun pH. Entre les deux $\mathrm{p}K_a$, c'est l'amphion qui prédomine.



3.2.4 · Diagramme de prédominance des trois formes de la valine

3.2.5 Déterminer la forme prédominante de la valine dans la boisson C, de pH voisin de 7,5.

Le pH de la boisson C vérifie $\mathrm{p}K_{A1} < \mathrm{pH} < \mathrm{p}K_{A2}$, car $2{,}3 < 7{,}5 < 9{,}7$. D'après le diagramme de la question 3.2.4, on se trouve dans le domaine de l'amphion.

Dans la boisson C, la valine est majoritairement sous forme d'amphion $(\mathrm{CH_3})_2\mathrm{CH}-\mathrm{CH}(\mathrm{NH_3}^+)-\mathrm{COO}^-$.

Spécialité : La qualité de l'eau du robinet, un enjeu de santé publique !

Bac S 2019 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Établir une liste argumentée du matériel nécessaire pour réaliser le titrage, puis schématiser et légender le dispositif de titrage.

Données utiles prise d'essai : 50,0 mL d'eau du robinet ; ajout de 100 mL d'eau déminéralisée ; volume de solution titrante versé : jusqu'à 24,0 mL

Pour préparer la solution à titrer

- une pipette jaugée de 50,0 mL et sa poire à pipeter : le volume d'eau du robinet doit être connu avec précision, car il intervient dans le calcul ;
- une éprouvette graduée de 100 mL : le volume d'eau déminéralisée ajouté n'a pas besoin d'être précis ;
- un bécher de 250 mL : il doit contenir $50 + 100 + 24 \approx 174$ mL en fin de titrage.

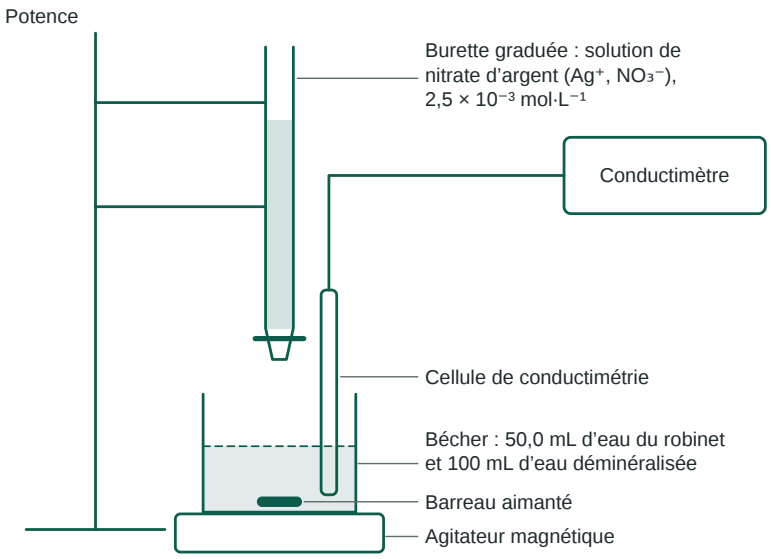
Pour verser la solution titrante

- une burette graduée de 25 mL fixée sur une potence : elle délivre la solution de nitrate d'argent millilitre par millilitre et donne le volume versé (ici jusqu'à 24,0 mL).

Pour homogénéiser et mesurer

- un agitateur magnétique et un barreau aimanté : le mélange doit être homogène avant chaque mesure ;
- un conductimètre et sa cellule de mesure, plongée dans le bécher : il indique la conductivité σ après chaque ajout.

Pipette jaugée de 50,0 mL, éprouvette de 100 mL, bécher de 250 mL, burette de 25 mL sur potence, agitateur magnétique, conductimètre : voir le schéma légendé.



1 · Dispositif de titrage suivi par conductimétrie

PIÈGE
Une liste sans justification ne rapporte pas tous les points : chaque instrument doit être associé à son rôle. Prélever la prise d'essai à l'éprouvette est une erreur, sa précision est insuffisante.

COMPRENDRE
L'eau déminéralisée n'apporte aucun ion chlorure : la quantité à titrer reste celle des 50,0 mL prélevés. Cet ajout sert à bien immerger la cellule et à limiter l'effet de la dilution au cours du titrage.

2 Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

Les ions argent apportés par la solution titrante réagissent avec les ions chlorure de l'eau pour former le précipité de chlorure d'argent :

$$\mathrm{Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)}$$

COMPRENDRE
Les ions nitrate $\mathrm{NO_3^-}$ sont spectateurs : ils n'apparaissent pas dans l'équation, mais ils restent en solution et participent à la conductivité.

P Problème. L'eau testée remplit-elle le critère de potabilité testé ?

Données utiles $V_1 = 50{,}0$ mL ; $c_2 = 2{,}5 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; tableau $\sigma = f(V)$; $M(\mathrm{Cl}) = 35{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; limite de qualité : $250\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$; $\lambda(\mathrm{Cl^-}) = 7{,}63 \times 10^{-3}$ et $\lambda(\mathrm{NO_3^-}) = 7{,}14 \times 10^{-3}\ \mathrm{S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}}$

Démarche. Le critère testé est la concentration en masse des ions chlorure, qui doit rester inférieure à $250\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$. On détermine le volume à l'équivalence V_E, on en déduit la concentration molaire c_1 des ions chlorure, puis leur concentration en masse c_m.

Allure de la courbe. Avant l'équivalence, chaque ion $\mathrm{Cl^-}$ consommé est remplacé par un ion $\mathrm{NO_3^-}$. Comme $\lambda(\mathrm{NO_3^-}) < \lambda(\mathrm{Cl^-})$, la conductivité diminue lentement. Après l'équivalence, les ions $\mathrm{Ag^+}$ et $\mathrm{NO_3^-}$ versés ne réagissent plus et s'accumulent : la conductivité augmente nettement.

Volume à l'équivalence. On place les points $\sigma = f(V)$ et on trace les deux droites moyennes : l'une par les points de 0,0 à 12,0 mL, l'autre par les points de 14,0 à 24,0 mL. L'équivalence correspond à leur intersection : $V_E \approx 12\ \mathrm{mL}$.

Concentration molaire. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation de la question 2 : $n(\mathrm{Cl^-})_{\text{initial}} = n(\mathrm{Ag^+})_{\text{versé}}$, soit $c_1 V_1 = c_2 V_E$.

$$c_1 = \frac{c_2\, V_E}{V_1} = \frac{2{,}5 \times 10^{-3} \times 12}{50{,}0} = 6{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

Concentration en masse. $c_m = c_1 \times M(\mathrm{Cl}) = 6{,}0 \times 10^{-4} \times 35{,}5 = 2{,}1 \times 10^{-2}\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$, soit $21\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$.

Hypothèses. Les ions chlorure sont les seuls ions de l'eau à réagir avec les ions argent ; l'eau déminéralisée ajoutée ne contient pas d'ions chlorure.

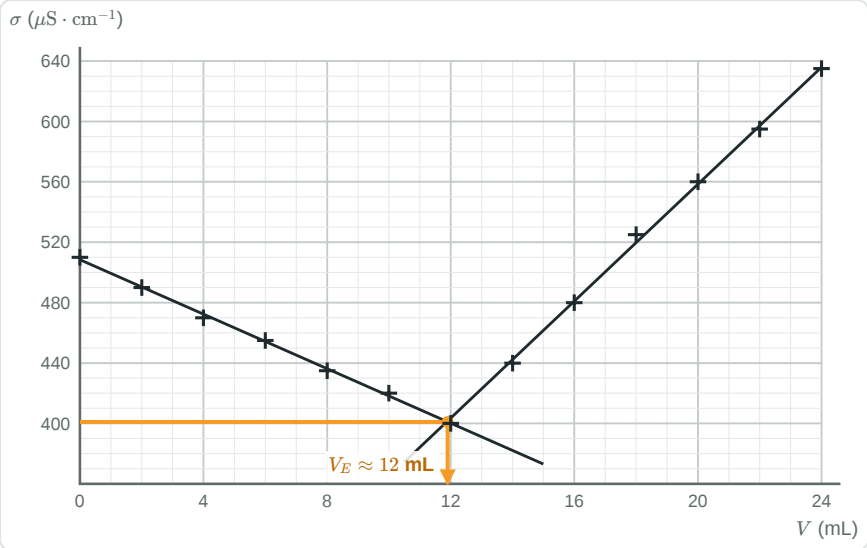
Regard critique. Le résultat est proche de la valeur du contrôle sanitaire ($23{,}0\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$) : l'écart, inférieur à 10 %, s'explique par la lecture graphique de V_E avec des mesures espacées de 2 mL.

$c_m \approx 21\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}} < 250\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$: l'eau testée remplit le critère de potabilité relatif aux ions chlorure.

PIÈGE
Prendre pour V_E le point le plus bas du tableau sans tracer les droites, ou oublier de convertir les $\mathrm{g \cdot L^{-1}}$ en $\mathrm{mg \cdot L^{-1}}$ avant de comparer à la limite.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_2 et V_E. Le volume V_1 est celui de la prise d'essai (50,0 mL), pas les 150 mL du bécher : diluer ne change pas la quantité d'ions chlorure.

MÉTHODE
Titrage conductimétrique : 1) tracer $\sigma = f(V)$; 2) deux droites, intersection en V_E ; 3) relation à l'équivalence ; 4) passer à la grandeur demandée ; 5) comparer à la norme et conclure par une phrase.



P · Conductivité en fonction du volume de nitrate d'argent versé : les deux droites se coupent à l'équivalence

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2.5 \times 10^{-3} \times 12}{50.0} \approx 6 \times 10^{-4}$$

$$6.0 \times 10^{-4} \times 35.5 \times 1000 \approx 21.3$$