Corrigé complet — Bac S 2013 Asie (ancien programme)

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

Ex 1	**Un nouveau stockage optique : le blu-ray** Niveaux d'énergie et photon · Laser et émission stimulée · Signal analogique et numérique · Interférences · Diffraction · Débit binaire	7,5 pts	1 h 10	20 questions	p. 2
Ex 2	**Chimie organique relativiste** Polarité des liaisons · Substitution et élimination · Spectres IR et RMN · Suivi cinétique par conductimétrie · Temps de demi-réaction · Dilatation des durées	7,5 pts	1 h 10	19 questions	p. 8
Ex 3	**L'arome de vanille** Groupes caractéristiques · Chiralité et isomérie · Extraction liquide-liquide · Acide de Brønsted · Loi de Beer-Lambert · Dosage par étalonnage	5 pts	50 min	11 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Etude de la fabrication d'un ponton en milieu marin** Corrosion de l'acier · Oxydoréduction · Pile électrochimique · Exploitation de documents · Protection des métaux · Synthèse argumentée	5 pts	50 min	2 questions	p. 18

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

Un nouveau stockage optique : le blu-ray

Bac S 2013 Asie (ancien programme) · Exercice 1 **7,5 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1 Dans quel niveau d'énergie l'atome est-il le plus excité ?

Données utiles $E_1 = 4{,}49$ eV ; $E_2 = 7{,}56$ eV

Plus l'énergie de l'atome est élevée, plus il est excité. Or $E_2 > E_1$.

L'atome est le plus excité dans le niveau $E_2 = 7{,}56$ eV.

1.2 Quelle est la longueur d'onde de la radiation à envoyer sur l'atome pour provoquer une émission stimulée ?

Données utiles $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

L'émission stimulée se produit si le photon incident a une énergie égale à l'écart entre les deux niveaux : $E = E_2 - E_1$.

Comme $E = h\nu$ et $\nu = \dfrac{c}{\lambda}$: $\quad \lambda = \dfrac{h\,c}{E_2 - E_1}$

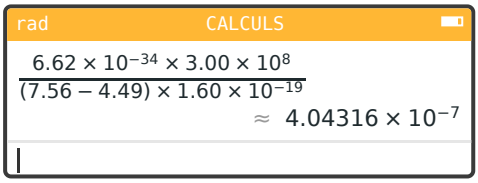
$$\lambda = \frac{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{(7{,}56 - 4{,}49) \times 1{,}60 \times 10^{-19}} = 4{,}04 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

$\lambda = 4{,}04 \times 10^{-7}$ m $= 404$ nm

PIÈGE
Laisser l'écart d'énergie en électronvolts. La relation $E = h\,\nu$ exige des joules : $3{,}07\ \text{eV} = 4{,}91 \times 10^{-19}$ J.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme toutes les données. Le laser et l'émission stimulée ne figurent plus au programme actuel de spécialité ; la relation entre énergie du photon et longueur d'onde, elle, y est toujours.

À LA CALCULATRICE



1.3 Quelle est la longueur d'onde de la radiation émise par l'atome ?

Données utiles $\lambda = 404$ nm (1.2)

Lors d'une émission stimulée, l'atome redescend de E_2 à E_1 et émet un photon identique au photon incident : même énergie $E_2 - E_1$, donc même longueur d'onde.

La radiation émise a pour longueur d'onde $\lambda = 404$ nm.

COMPRENDRE
Le photon incident n'est pas absorbé : il en ressort deux, de même fréquence, même direction et même phase. C'est ce qui amplifie la lumière dans la cavité.

1.4 Donner deux caractéristiques de la lumière laser.

La lumière laser est **monochromatique** (une seule longueur d'onde) et **directive** (faisceau très peu divergent).

COMPRENDRE
Autres réponses acceptables : lumière cohérente, comme le dit le titre de la partie, ou énergie concentrée sur une très petite surface.

2.1 Pourquoi dit-on que l'information est stockée sur le disque sous forme binaire ?

Le capteur ne distingue que deux états : un passage plat-creux, codé 1, ou une absence de passage, codée 0.

L'information est une suite de 0 et de 1, c'est-à-dire de bits : elle est binaire.

2.2 La tension du document 2, issue du microphone, forme-t-elle un signal numérique ou analogique ? Justifier.

La tension varie de façon continue au cours du temps : entre $-2{,}5$ V et $+2{,}5$ V, elle peut prendre n'importe quelle valeur.

Le signal délivré par le microphone est **analogique**.

COMPRENDRE
Un signal numérique varie par paliers et ne prend qu'un nombre fini de valeurs, comme la tension en escalier du document 3.

2.3.1 Déterminer la fréquence d'échantillonnage du convertisseur numérique-analogique à partir du document 3.

Données utiles document 3 : graduation de l'axe des temps tous les 100 µs

La tension du document 3 est en escalier : chaque palier dure une période d'échantillonnage T_E.

On compte 5 paliers entre deux graduations, soit $5\,T_E = 100$ µs, donc $T_E = 20$ µs $= 20 \times 10^{-6}$ s.

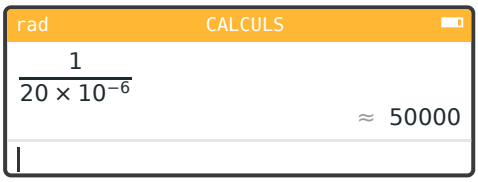
$$f_E = \frac{1}{T_E} = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 5{,}0 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$f_E = 5{,}0 \times 10^4$ Hz $= 50$ kHz

PIÈGE
Compter les marches en hauteur. La période d'échantillonnage se lit sur l'axe des temps : c'est la largeur d'un palier.

MÉTHODE
Mesurer la durée de plusieurs paliers consécutifs puis diviser : la lecture est plus précise que sur un seul palier. Convertir en secondes avant de prendre l'inverse.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 Comment modifier cette fréquence d'échantillonnage pour que le signal envoyé au haut-parleur se rapproche de celui du microphone ?

Avec des paliers plus courts, donc plus nombreux, la tension en escalier suit de plus près la courbe du document 2. Il faut pour cela diminuer T_E.

Il faut **augmenter** la fréquence d'échantillonnage.

3.1 Donner la condition que doit vérifier ΔL pour que les interférences soient destructives.

Les deux parties du faisceau doivent se superposer en opposition de phase : la différence de parcours vaut un nombre impair de demi-longueurs d'onde.

$\Delta L = (2k+1)\,\dfrac{\lambda}{2}$, avec k entier

PIÈGE
Écrire $\Delta L = k\,\lambda$: c'est la condition d'interférences constructives.

COMPRENDRE
La longueur d'onde à utiliser est λ, celle dans le polycarbonate, car c'est dans ce milieu que les deux parties du faisceau parcourent des trajets différents.

3.2 Montrer que la profondeur minimale du creux s'écrit $d = \frac{\lambda}{4}$.

Données utiles condition d'interférences destructives (3.1)

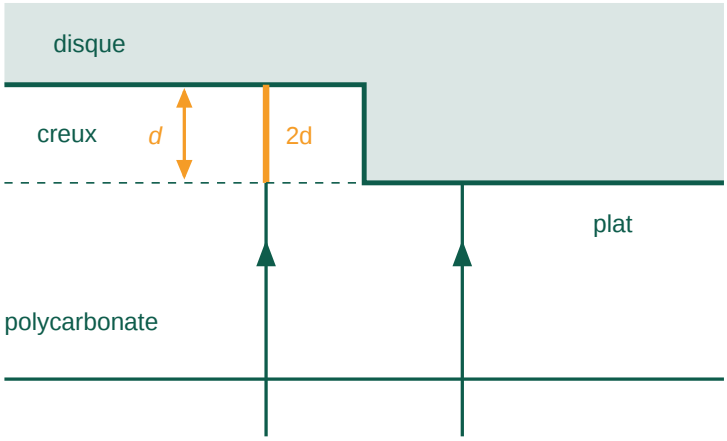
Le rayon réfléchi au fond du creux parcourt la profondeur d à l'aller et au retour, en plus du trajet du rayon réfléchi par le plat : $\Delta L = 2d$.

Pour un 1, les interférences doivent être destructives : $2d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$.

La profondeur est minimale pour $k = 0$: $2d = \frac{\lambda}{2}$.

$d = \frac{\lambda}{4}$, ce qui est la relation attendue.

PIÈGE
Oublier l'aller-retour et écrire $\Delta L = d$: on trouverait $d = \frac{\lambda}{2}$.



3.2 · Figure 2 du sujet : le rayon réfléchi au fond du creux parcourt 2d de plus

3.3 Calculer d pour un CD lu par un faisceau laser de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 780$ nm.

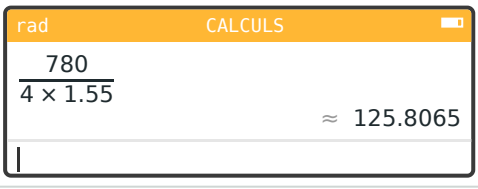
Données utiles $n = 1{,}55$; $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$; $d = \frac{\lambda}{4}$ (3.2)

$$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0}{4\,n} = \frac{780}{4 \times 1{,}55} = 126 \text{ nm}$$

$d = 126 \text{ nm} = 1{,}26 \times 10^{-7} \text{ m}$

PIÈGE
Utiliser λ_0 à la place de λ : on obtiendrait 195 nm. Le creux est rempli de polycarbonate, où la longueur d'onde est plus courte que dans le vide.

À LA CALCULATRICE



3.4 Dans quel cas (figure 1 ou figure 2) le capteur reçoit-il le plus de lumière ? Justifier.

Figure 1 : tous les rayons parcourent le même trajet, $\Delta L = 0$. Ils arrivent en phase sur le capteur, les interférences sont constructives et l'intensité lumineuse est maximale.

Figure 2 : $\Delta L = 2d = \frac{\lambda}{2}$. Les interférences sont destructives et l'intensité reçue est minimale.

Le capteur reçoit le plus de lumière dans le cas de la **figure 1**.

4.1 Justifier l'appellation « Blu-ray » en faisant référence à la longueur d'onde du faisceau laser.

Données utiles document 6 : $\lambda_0 = 405$ nm pour le Blu-ray ; violet de 400 à 420 nm, bleu de 420 à 500 nm

Le laser d'un lecteur Blu-ray émet à $\lambda_0 = 405$ nm. Sur le spectre du document 6, cette radiation se situe à l'extrémité violette du visible, tout près du domaine du bleu.

Le faisceau est violet-bleu, d'où le nom « Blu-ray » (rayon bleu), par opposition aux lasers rouge (650 nm) du DVD et infrarouge (780 nm) du CD.

COMPRENDRE
Avec l'échelle du document, 405 nm tombe strictement dans le violet. L'appellation commerciale retient le bleu : la réponse doit citer la valeur et la situer sur le spectre.

4.2 Quel phénomène empêche d'obtenir, dans chaque cas, une largeur de faisceau plus faible ?

Le faisceau traverse une ouverture circulaire de petite dimension (la lentille de focalisation). Il s'étale au lieu de converger en un point : le spot a un diamètre minimal D proportionnel à λ_0.

Le phénomène limitant est la **diffraction**.

COMPRENDRE
La formule $D = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_0}{NA}$ en porte la marque : le spot est d'autant plus large que la longueur d'onde est grande.

4.3 Vérifier que le diamètre D du spot du Blu-ray est compatible avec la distance 2ℓ qui sépare trois lignes de données.

Données utiles Blu-ray : $\lambda_0 = 405$ nm ; $NA = 0{,}85$; $\ell = 0{,}30$ µm ; $D = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_0}{NA}$

$$D = 1{,}22 \times \frac{\lambda_0}{NA} = 1{,}22 \times \frac{405}{0{,}85} = 581 \text{ nm} = 0{,}58 \text{ µm}$$

Distance entre trois lignes : $2\ell = 2 \times 0{,}30 = 0{,}60$ µm.

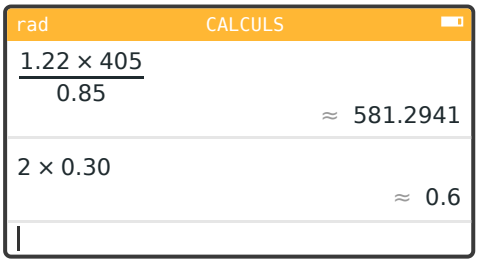
Le spot, centré sur une ligne, ne doit pas déborder sur les deux lignes voisines situées à la distance ℓ de part et d'autre : il faut $D < 2\ell$.

$D = 0{,}58$ µm $< 2\ell = 0{,}60$ µm : le spot n'éclaire qu'une seule ligne, son diamètre est compatible.

PIÈGE
Comparer des nanomètres à des micromètres. Convertir avant de conclure : 581 nm $= 0{,}581$ µm.

COMPRENDRE
NA et ℓ n'ont que deux chiffres significatifs : $D = 0{,}58$ µm. La marge est faible, la distance entre lignes est choisie au plus juste.

À LA CALCULATRICE



4.4 Expliquer, en argumentant, comment améliorer la capacité de stockage du disque sans modifier sa surface.

Données utiles document 6 ; $D = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_0}{NA}$

À surface égale, il faut y loger davantage de données : rapprocher les lignes (diminuer ℓ) et raccourcir les cavités.

Le spot doit alors rester plus petit que 2ℓ : il faut diminuer $D = 1{,}22\,\dfrac{\lambda_0}{NA}$.

Le document 6 le confirme : du CD au Blu-ray, λ_0 passe de 780 à 405 nm, NA de 0,45 à 0,85 et ℓ de 1,6 à 0,30 µm.

On augmente la capacité en diminuant la longueur d'onde λ_0 du laser et en augmentant l'ouverture numérique NA, ce qui réduit le spot et permet de resserrer les données.

MÉTHODE
Pour « argumenter », enchaîner : l'objectif (plus de données par unité de surface), la contrainte (taille du spot), la formule, puis les valeurs du document qui illustrent la conclusion.

4.5 Calculer, en Mibit/s, le débit binaire lors de la lecture d'une vidéo HD (46 Gio pour environ 4 heures).

Données utiles $1\text{ Gio} = 2^{30}$ octets ; 1 octet = 8 bits ; $1\text{ Mibit} = 2^{20}$ bits

Le débit binaire est le nombre de bits transmis par seconde : $D_b = \dfrac{N}{\Delta t}$.

Nombre de bits : $N = 46 \times 2^{30} \times 8$ bits, soit $\dfrac{46 \times 2^{30} \times 8}{2^{20}} = 3{,}8 \times 10^5$ Mibit.

Durée : $\Delta t = 4 \times 3600 = 14\,400$ s.

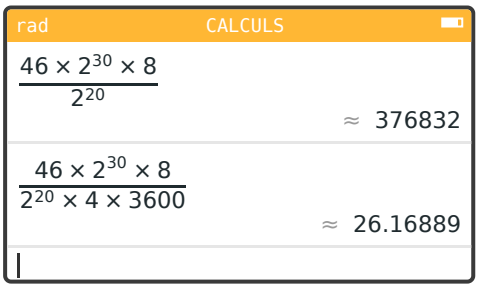
$$D_b = \frac{46 \times 2^{30} \times 8}{2^{20} \times 4 \times 3600} = 26\ \text{Mibit} \cdot \text{s}^{-1}$$

$D_b \approx 26$ Mibit/s

PIÈGE
Oublier le facteur 8 (la capacité est donnée en octets, le débit demandé en bits) ou laisser la durée en heures.

COMPRENDRE
Le débit binaire ne figure plus au programme actuel de spécialité. Le calcul reste une simple division d'une quantité de données par une durée.

À LA CALCULATRICE



4.6.1 Montrer que la taille numérique d'une image non compressée est d'environ 15 Mibit.

Données utiles image de 720×900 pixels ; 24 bits par pixel ; $1\text{ Mibit} = 2^{20}$ bits

Taille = nombre de pixels × nombre de bits par pixel.

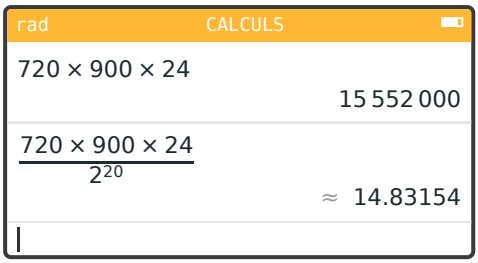
$\text{taille} = 720 \times 900 \times 24 = 1{,}56 \times 10^7$ bits

En mébibits : $\dfrac{1{,}56 \times 10^7}{2^{20}} = 14{,}8$ Mibit

La taille d'une image est de 14,8 Mibit, soit environ 15 Mibit.

PIÈGE
Diviser par 10^6 : on trouverait 15,6. Le mébibit vaut $2^{20} = 1\,048\,576$ bits, pas un million.

À LA CALCULATRICE



4.6.2 Combien d'images par seconde peut-on obtenir avec le débit binaire calculé à la question 4.5 ?

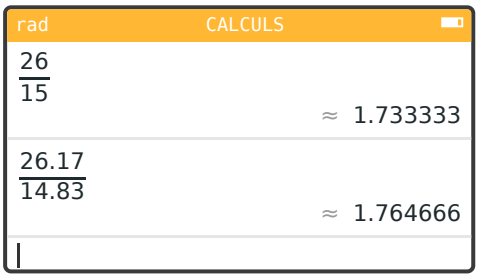
Données utiles $D_b = 26$ Mibit/s (4.5) ; taille d'une image : 15 Mibit (4.6.1)

$$\text{Nombre d'images par seconde} = \frac{\text{débit binaire}}{\text{taille d'une image}} = \frac{26}{15} = 1{,}7$$

Ce débit ne permet d'afficher qu'environ 1,7 image par seconde, soit moins de 2 images par seconde.

COMPRENDRE
Avec les valeurs non arrondies (26,17 et 14,83), on obtient 1,8 image par seconde. Les deux résultats sont acceptables et mènent à la même conclusion.

À LA CALCULATRICE



4.6.3 Il faut au moins 25 images par seconde pour éviter le clignotement. Pourquoi faut-il réduire la taille des images par un protocole de compression ?

Données utiles débit : 26 Mibit/s (4.5) ; moins de 2 images non compressées par seconde (4.6.2)

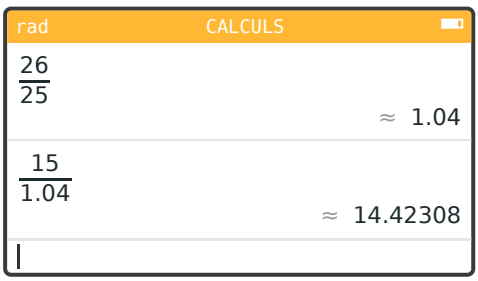
Sans compression, le débit ne fournit que moins de 2 images par seconde, très en dessous des 25 nécessaires.

Le débit étant fixé, il faut que 25 images tiennent dans 26 Mibit : chaque image doit occuper au plus $\frac{26}{25} \approx 1{,}0$ Mibit au lieu de 15 Mibit.

La compression doit diviser la taille de chaque image par 15 environ pour atteindre 25 images par seconde avec le débit disponible.

COMPRENDRE
Autre lecture : 25 images non compressées par seconde exigeraient $25 \times 15 = 375$ Mibit/s, et le disque de 46 Gio ne contiendrait qu'un quart d'heure de vidéo environ.

À LA CALCULATRICE



Chimie organique relativiste

Bac S 2013 Asie (ancien programme) · Exercice 2 **7,5 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1 Préciser les polarités de la liaison C–Cl du 2-chloro-2-méthylpropane et des liaisons O–H de l'eau.

Données utiles $\chi(\mathrm{H}) = 2{,}20$; $\chi(\mathrm{C}) = 2{,}55$; $\chi(\mathrm{Cl}) = 3{,}16$; $\chi(\mathrm{O}) = 3{,}44$

Dans une liaison covalente, l'atome le plus électronégatif attire vers lui le doublet liant : il porte une charge partielle δ^-, l'autre atome une charge partielle δ^+.

$\chi(\mathrm{Cl}) > \chi(\mathrm{C})$: la liaison C–Cl est polarisée, $\mathrm{C}^{\delta+}$–$\mathrm{Cl}^{\delta-}$.

$\chi(\mathrm{O}) > \chi(\mathrm{H})$: chaque liaison O–H est polarisée, $\mathrm{O}^{\delta-}$–$\mathrm{H}^{\delta+}$.

$\mathrm{C}^{\delta+}$–$\mathrm{Cl}^{\delta-}$ et $\mathrm{O}^{\delta-}$–$\mathrm{H}^{\delta+}$

PIÈGE
Donner les charges partielles sans comparer les électronégativités : la question demande d'utiliser les données, la justification compte.

1.2 À l'aide des formules de Lewis, identifier les sites donneurs et accepteurs d'électrons pouvant être mis en jeu dans cette réaction.

Site donneur : l'atome d'oxygène de l'eau, qui porte deux doublets non liants et une charge partielle δ^-.

Site accepteur : l'atome de carbone lié au chlore dans le 2-chloro-2-méthylpropane, qui porte une charge partielle δ^+ (Q1.1).

Donneur : O de l'eau ; accepteur : C lié à Cl.

COMPRENDRE
Un site donneur est riche en électrons (doublet non liant, liaison multiple, charge négative) ; un site accepteur est appauvri en électrons (charge positive, entière ou partielle). Une flèche courbe part toujours du donneur vers l'accepteur.

1.3 Attribuer à chacune des molécules P1 et P2 le type de réaction (substitution ou élimination) qui la produit, en justifiant.

P1, de formule $(\mathrm{CH_3})_3\mathrm{C{-}OH}$: l'atome de chlore du réactif a été remplacé par un groupe hydroxyle –OH, le squelette carboné est inchangé. C'est une **substitution**.

P2, de formule $\mathrm{H_2C{=}C(CH_3)_2}$: le réactif a perdu l'atome de chlore et un atome d'hydrogène porté par un carbone voisin, sans rien recevoir à la place ; une double liaison C=C s'est formée. C'est une **élimination**.

P1 : substitution ; P2 : élimination.

MÉTHODE
Substitution : un atome ou un groupe en remplace un autre. Élimination : deux atomes ou groupes portés par des carbones voisins partent, une liaison multiple apparaît. Addition : c'est l'inverse, une liaison multiple disparaît.

1.4 À partir du spectre IR (document 1), indiquer la présence ou l'absence de chaque groupe caractéristique du tableau.

Données utiles O–H (alcool avec liaisons H) : 3200 – 3400 $\mathrm{cm^{-1}}$; C–H (C lié à une double liaison) : 3000 – 3100 $\mathrm{cm^{-1}}$; C–H (C à quatre liaisons simples) : 2810 – 3000 $\mathrm{cm^{-1}}$; C=C : 1620 – 1680 $\mathrm{cm^{-1}}$

- O–H : bande large et intense centrée vers 3350 $\mathrm{cm^{-1}}$: groupe **présent**.
- C–H d'un carbone lié à une double liaison : aucune bande entre 3000 et 3100 $\mathrm{cm^{-1}}$: **absent**.
- C–H d'un carbone à quatre liaisons simples : bande fine et très intense juste en dessous de 3000 $\mathrm{cm^{-1}}$: **présent**.
- C=C : pas de bande notable entre 1620 et 1680 $\mathrm{cm^{-1}}$: **absent**.

O–H présent, C–H tétragonal présent ; C–H d'alcène et C=C absents : le spectre est celui d'un alcool sans double liaison, donc de P1.

PIÈGE
L'axe des nombres d'onde est orienté vers la gauche et l'ordonnée est une transmittance : une absorption est un creux dirigé vers le bas, pas un pic.

1.5 Identifier le produit de la réaction, P1 ou P2, à partir du spectre de RMN du proton (document 2).

Données utiles $C{=}CH_2$: 4,5 à 6 ppm ; C–O–H : 0,7 à 5,5 ppm ; $CH_3{-}C{=}C$: 1,6 ppm ; $CH_3{-}C{-}O$: 1,15 à 1,3 ppm

Le spectre présente deux signaux, tous deux des singulets : l'un à $\delta \approx 1{,}2$ ppm, l'autre à $\delta \approx 2{,}9$ ppm. La courbe d'intégration monte d'environ 1 unité pour le signal à 2,9 ppm et d'environ 9 unités pour celui à 1,2 ppm : les nombres de protons sont dans le rapport 1 pour 9.

P1, $(CH_3)_3C{-}OH$: 9 protons équivalents des trois groupes CH_3, sans proton sur le carbone voisin, donc un singulet attendu entre 1,15 et 1,3 ppm ; 1 proton du groupe O–H, un singulet entre 0,7 et 5,5 ppm. Tout concorde.

P2 donnerait un signal entre 4,5 et 6 ppm ($=CH_2$) et un signal à 1,6 ppm, dans le rapport 2 pour 6 : ce n'est pas le spectre observé.

Le produit formé est P1, le 2-méthylpropan-2-ol, en accord avec le spectre IR (Q1.4).

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN ne figure plus au programme actuel de la spécialité de terminale ; la spectroscopie infrarouge, elle, y est toujours.

MÉTHODE
Trois informations à exploiter dans l'ordre : nombre de signaux (groupes de protons équivalents), hauteur des sauts de la courbe d'intégration (nombre de protons), multiplicité (n voisins donnent n + 1 pics).

1.6 À partir des réponses aux questions 1.3 et 1.5, donner la nature de la réaction étudiée.

Le produit obtenu est P1 (Q1.5), or P1 résulte du remplacement de Cl par OH (Q1.3).

La réaction étudiée est une substitution.

1.7 Justifier qualitativement que cette réaction puisse être suivie par conductimétrie.

Équation de la réaction :
$(CH_3)_3C{-}Cl + H_2O \longrightarrow (CH_3)_3C{-}OH + H^+ + Cl^-$

Les réactifs sont des molécules, non chargées ; la réaction forme des ions H^+ et Cl^-. La concentration en ions augmente donc avec l'avancement, et la conductivité de la solution aussi.

La réaction produit des ions : la conductivité augmente au cours du temps, sa mesure permet de suivre l'avancement.

COMPRENDRE
L'équation doit respecter la conservation de la charge : l'ion Cl^- indiqué par le sujet est nécessairement accompagné d'un ion positif, ici H^+ (présent dans l'eau sous la forme H_3O^+).

2.1 En comparant les expériences A1, A2 et A3, indiquer l'influence de la température sur la vitesse de la réaction.

Données utiles A1 : 25 °C ; A2 : 30 °C ; A3 : 40 °C ; même mélange (30 g d'eau, 20 g d'acétone, 1,0 mL de réactif)

Les trois expériences ne diffèrent que par la température, et la quantité initiale de réactif est la même.

À $t = 1200$ s, la courbe A3 (40 °C) est presque horizontale : la réaction est pratiquement terminée. Aux mêmes dates, les courbes A2 (30 °C) et A1 (25 °C) croissent encore régulièrement : ces réactions sont loin d'être achevées, A1 étant la moins avancée.

Plus la température est élevée, plus la réaction est rapide : la température est un facteur cinétique.

PIÈGE
Comparer directement les valeurs de σ pour comparer les avancements est fragile : la constante K dépend de la température. L'argument sûr est l'allure des courbes, palier atteint ou non.

2.2 En comparant A3 et B, indiquer l'influence de la proportion eau / acétone sur la vitesse de la réaction. Justifier.

Données utiles A3 : 30 g d'eau, 20 g d'acétone ; B : 25 g d'eau, 25 g d'acétone ; 40 °C dans les deux cas

Les expériences A3 et B sont menées à la même température ; seule la composition du mélange change, B contenant proportionnellement moins d'eau.

À $t = 1200$ s, la courbe A3 a pratiquement atteint son palier, alors que la courbe B (document 4) augmente encore nettement : la réaction B n'est pas terminée.

La réaction est d'autant plus rapide que la proportion d'eau dans le mélange eau / acétone est grande.

COMPRENDRE
L'eau est à la fois solvant et réactif. On ne change qu'un seul paramètre à la fois : c'est pourquoi B se compare à A3, de même température, et non à A1 ou A2.

2.3 Définir le temps de demi-réaction.

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \dfrac{x_f}{2}$.

PIÈGE
Ce n'est pas la moitié de la durée totale de la réaction, et ce n'est pas non plus l'instant où x vaut la moitié de x_{max} si la transformation n'est pas totale.

2.4 Donner la valeur du temps de demi-réaction dans le cas de l'expérience A3.

Données utiles document 3, courbe A3 : palier à $\sigma_f \approx 9{,}1\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$

Comme $\sigma(t) = K\,x(t)$ avec K constante pour une expérience donnée, σ est proportionnelle à x : $\sigma(t_{1/2}) = \dfrac{\sigma_f}{2}$.

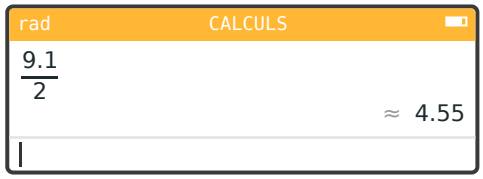
La courbe A3 se stabilise à $\sigma_f \approx 9{,}1\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, donc $\sigma(t_{1/2}) \approx \dfrac{9{,}1}{2} \approx 4{,}6\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$.

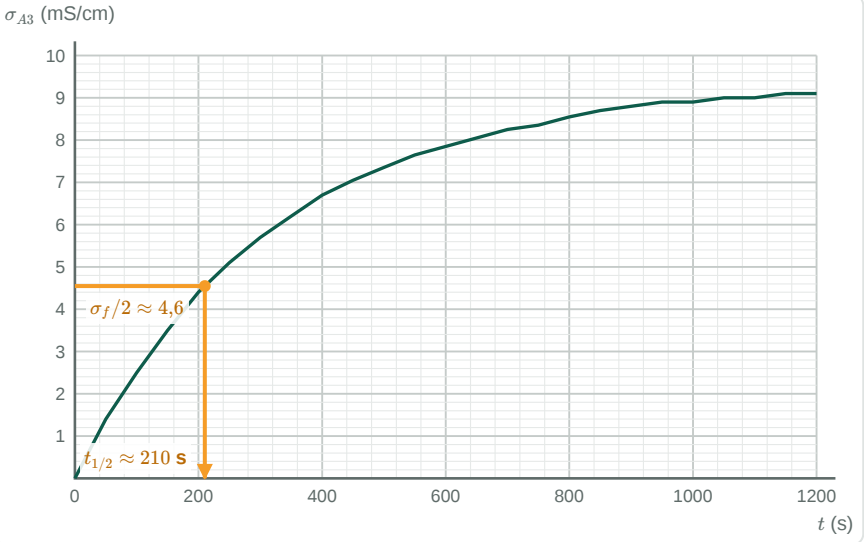
On trace l'horizontale d'ordonnée 4,6 jusqu'à la courbe A3, puis la verticale jusqu'à l'axe des temps.

$t_{1/2} \approx 2{,}1 \times 10^2$ s pour l'expérience A3 (lecture graphique, à quelques dizaines de secondes près).

MÉTHODE
Repérer la valeur finale (palier), la diviser par deux, lire l'abscisse correspondante sur la courbe, en laissant les traits de construction apparents sur l'annexe rendue avec la copie.

À LA CALCULATRICE





2.4 · Document 3, courbe A3 : lecture graphique de $t_{1/2}$

3.1 Définir la notion de temps propre.

Le temps propre (ou durée propre) est la durée séparant deux événements, mesurée dans le référentiel où ces deux événements se produisent au même endroit ; une seule horloge, immobile dans ce référentiel, suffit à la mesurer.

COMPRENDRE
La relativité restreinte (durée propre, dilatation des durées) ne figure plus au programme actuel de la spécialité de terminale. Cette partie se traite avec les connaissances de l'ancien programme de terminale S.

3.2 Indiquer les deux référentiels étudiés ici.

Le référentiel lié à la navette (où l'horloge H est fixe) et le référentiel terrestre, dans lequel les balises munies des horloges H_1 et H_2 sont fixes.

COMPRENDRE
Les deux référentiels sont supposés galiléens et en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre, à la vitesse $v = 0{,}80\,c$.

3.3 Donner les noms de Δt_m et Δt_p dans la relation $\Delta t_m = \gamma\,\Delta t_p$.

Δt_p est la durée propre ; Δt_m est la durée mesurée (ou durée impropre).

3.4 Dans quels référentiels sont déterminées respectivement Δt_m et Δt_p ?

Les deux événements sont l'émission du premier signal (début de la réaction) et l'émission du second signal (temps de demi-réaction atteint). Ils ont lieu au même endroit dans la navette, mais en deux points différents de l'espace pour un observateur terrestre (en face de la balise 1, puis en face de la balise 2).

Δt_p est déterminée dans le référentiel de la navette ; Δt_m dans le référentiel terrestre (celui des balises).

3.5 Quel est le nombre suffisant d'horloges qu'il faut utiliser pour mesurer la durée Δt_p ?

Dans la navette, les deux événements se produisent au même endroit.

Une seule horloge suffit : l'horloge H, fixe dans la navette.

COMPRENDRE
Dans le référentiel terrestre, il faut au contraire deux horloges synchronisées, H_1 et H_2, car les deux événements n'y ont pas lieu au même endroit.

3.6 Sachant que $\dfrac{1}{\gamma^2} = 1 - \dfrac{v^2}{c^2}$, calculer γ, puis la durée inconnue.

Données utiles $v = 0{,}80\,c$; $\Delta t_p = 1000$ s (temps de demi-réaction mesuré dans la navette)

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}80^2}} = 1{,}7$$

La durée connue est la durée propre, $\Delta t_p = 1000$ s ; la durée inconnue est celle mesurée depuis la Terre :

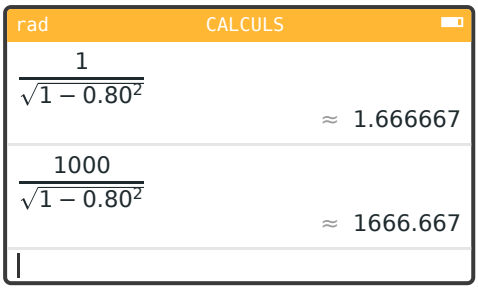
$$\Delta t_m = \gamma\,\Delta t_p = \frac{1000}{\sqrt{1 - 0{,}80^2}} = 1{,}7 \times 10^3 \text{ s}$$

$\gamma = 1{,}7$ et $\Delta t_m = 1{,}7 \times 10^3$ s

PIÈGE
Oublier le carré ou la racine : γ est toujours supérieur ou égal à 1. Un résultat inférieur à 1 signale une erreur de calcul.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la vitesse $0{,}80\,c$. Le rapport v/c vaut 0,80 : la valeur de c est inutile. Pour Δt_m, on garde la valeur non arrondie de γ dans la calculatrice.

À LA CALCULATRICE



3.7 Comparer Δt_m et Δt_p. Commenter.

Données utiles $\Delta t_m = 1{,}7 \times 10^3$ s (Q3.6) ; $\Delta t_p = 1000$ s

$\Delta t_m > \Delta t_p$: pour l'observateur terrestre, le temps de demi-réaction vaut environ 1700 s, contre 1000 s pour les élèves dans la navette.

La durée mesurée dans le référentiel où la navette est en mouvement est plus longue que la durée propre : c'est la dilatation des durées. L'effet est important ici parce que la vitesse de la navette est proche de celle de la lumière.

$\Delta t_m = 1{,}7\,\Delta t_p$: la durée mesurée depuis la Terre est dilatée par rapport à la durée propre.

COMPRENDRE
La réaction n'est pas ralentie pour les élèves : dans la navette, elle se déroule normalement. C'est la durée entre deux événements qui dépend du référentiel dans lequel on la mesure.

3.8 Citer une expérience réaliste qui permet d'observer ce phénomène.

Les muons créés dans la haute atmosphère se déplacent à une vitesse proche de c. Leur durée de vie mesurée dans le référentiel terrestre est bien plus grande que leur durée de vie propre, ce qui explique qu'on en détecte un grand nombre au niveau du sol.

La détection au sol des muons atmosphériques met en évidence la dilatation des durées.

COMPRENDRE
Autre exemple : des horloges atomiques embarquées dans un avion ou un satellite (GPS) se décalent de façon mesurable par rapport à des horloges identiques restées au sol.

L'arome de vanille

Bac S 2013 Asie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 La molécule de vanilline possède-t-elle un carbone asymétrique ? Justifier.

Un carbone asymétrique est un carbone tétraédrique lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents.

Dans la vanilline, les six carbones du cycle et celui du groupe CHO n'ont que trois voisins. Le seul carbone tétraédrique est celui du groupe $\mathrm{CH_3}$, qui porte trois atomes d'hydrogène identiques.

La vanilline ne possède **aucun carbone asymétrique**.

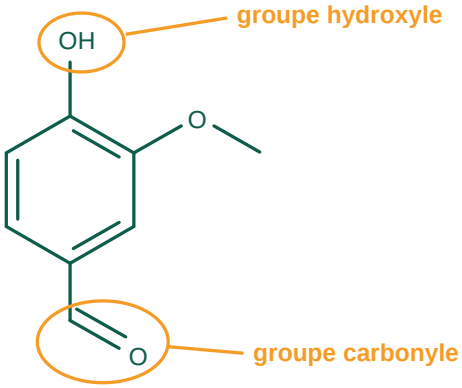
COMPRENDRE
Le carbone asymétrique et la chiralité figuraient au programme du Bac S. Ils ne sont plus au programme actuel de la spécialité de Terminale.

MÉTHODE
En formule topologique, repérer d'abord les carbones engagés dans une double liaison ou un cycle aromatique : ils sont éliminés d'office. Il ne reste qu'à examiner les carbones à quatre liaisons simples.

1.2 Recopier la formule de la vanilline, puis entourer et nommer deux de ses groupes caractéristiques.

Voir la formule ci-dessous : les deux groupes choisis sont entourés.

Groupe **hydroxyle** $-\mathrm{OH}$ (porté par le cycle) et groupe **carbonyle** $\mathrm{C{=}O}$ (ici en bout de chaîne : aldéhyde).



1.2 · Vanilline : deux groupes caractéristiques entourés

PIÈGE
Ne pas confondre le nom du groupe (hydroxyle, carbonyle) et celui de la famille (alcool ou phénol, aldéhyde). La question demande le groupe.

COMPRENDRE
Le troisième groupe, $\mathrm{C{-}O{-}C}$, est un groupe éther-oxyde ; il convenait aussi. Ce n'est pas un ester : il n'y a pas de $\mathrm{C{=}O}$ sur le carbone voisin de cet oxygène.

1.3 Vrai ou faux, en justifiant : a) la vanilline et l'éthylvanilline sont isomères ; b) elles sont chirales.

a. Des isomères ont la même formule brute. La vanilline a pour formule $\mathrm{C_8H_8O_3}$; l'éthylvanilline compte un groupe $\mathrm{CH_2}$ de plus, soit $\mathrm{C_9H_{10}O_3}$. Les formules brutes diffèrent.

b. Une molécule est chirale lorsqu'on ne peut pas la superposer à son image dans un miroir plan. Ces deux molécules n'ont aucun carbone asymétrique et chacune peut se placer dans une conformation plane : elle admet alors un plan de symétrie et se superpose à son image.

Proposition a : **fausse**. Proposition b : **fausse**.

PIÈGE
Pour la proposition a, compter réellement les atomes des deux molécules. Écrire seulement « elles se ressemblent » ou « elles ont les mêmes groupes » ne justifie rien.

COMPRENDRE
L'absence de carbone asymétrique ne suffit pas toujours à écarter la chiralité ; l'argument décisif est la superposition à l'image dans le miroir.

2.1 Sur le document 1 de l'annexe, indiquer le nom de la verrerie et, en justifiant sa position, la phase qui contient la vanilline en fin d'extraction.

Données utiles dichlorométhane : $d = 1{,}33$, non miscible à l'eau ; vanilline : soluble dans les solvants organiques, très peu soluble dans l'eau

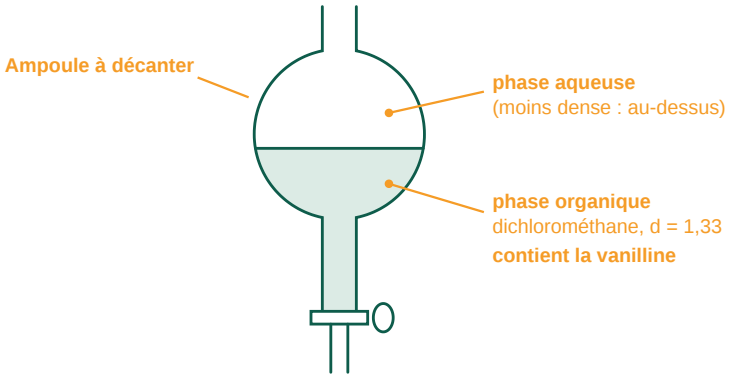
L'instrument est une **ampoule à décanter**.

Le dichlorométhane et l'eau ne sont pas miscibles : on observe deux phases. Le dichlorométhane est plus dense que l'eau ($d = 1{,}33 > 1$) : la phase organique est en dessous, la phase aqueuse au-dessus.

La vanilline est bien plus soluble dans le solvant organique que dans l'eau : elle passe dans le dichlorométhane.

La vanilline se trouve dans la **phase inférieure** (phase organique).

PIÈGE
La phase organique n'est pas toujours au-dessus. Sa position se justifie par la densité du solvant, comparée à celle de l'eau ($d = 1$).



2.1 · Document 1 de l'annexe complété

2.2 D'après l'équation de sa réaction avec les ions hydroxyde, la vanilline est-elle un acide ou une base au sens de Brönsted ? Expliquer.

Selon Brönsted, un acide est une espèce capable de céder un ion hydrogène $\mathrm{H^+}$; une base est capable d'en capter un.

Dans la réaction, le groupe $-\mathrm{OH}$ de la vanilline devient $-\mathrm{O}-$: la vanilline a cédé un ion $\mathrm{H^+}$, capté par l'ion $\mathrm{HO^-}$ qui devient $\mathrm{H_2O}$.

La vanilline est un **acide** ; l'ion phénolate est sa base conjuguée.

MÉTHODE
Comparer la formule de l'espèce avant et après la réaction : un H en moins et une charge négative en plus signalent un acide qui a cédé $\mathrm{H^+}$.

2.3.1 D'après son spectre d'absorption UV-visible, l'ion phénolate absorbe-t-il dans le domaine du visible ? Justifier.

Le domaine visible s'étend d'environ 400 nm à 800 nm.

Sur le spectre, l'absorbance est maximale vers 350 nm et elle est nulle au-delà de 400 nm : toute la bande d'absorption est située dans l'ultraviolet.

L'ion phénolate **n'absorbe pas dans le visible**.

PIÈGE
Citer le spectre sans valeur ne rapporte rien : il faut lire la longueur d'onde du maximum et la limite de la bande, puis les comparer à 400 nm.

2.3.2 Les solutions basiques de vanilline sont-elles colorées ? Expliquer à l'aide de la structure de l'ion phénolate.

L'ion phénolate comporte quatre doubles liaisons conjuguées : les trois liaisons C=C du cycle et la liaison C=O, séparées chacune de la suivante par une seule liaison simple.

Ce nombre est inférieur à sept : le système conjugué est trop court pour que l'absorption atteigne le visible, ce que confirme le spectre (question 2.3.1).

Les solutions basiques de vanilline sont **incolores**.

COMPRENDRE
Plus le système conjugué est étendu, plus la longueur d'onde du maximum d'absorption est grande. Une espèce n'est colorée que si elle absorbe entre 400 et 800 nm.

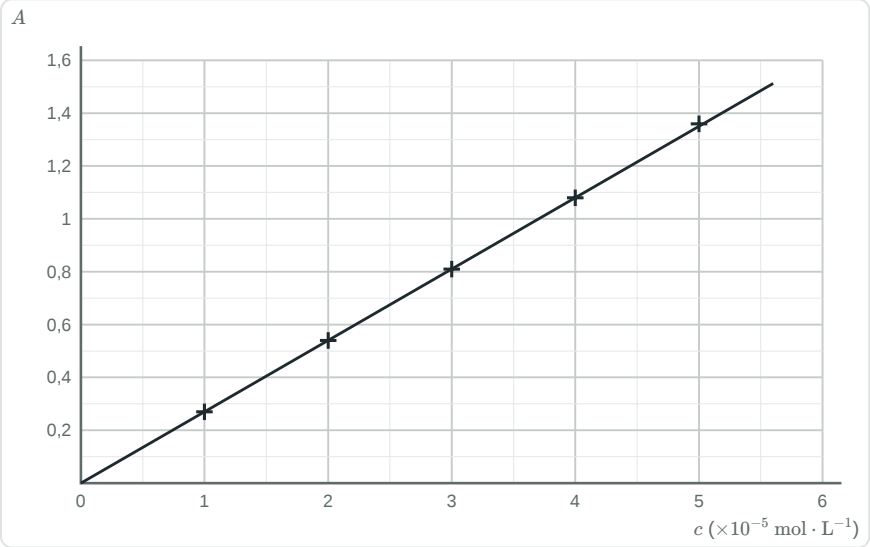
2.4 **2.4.1.** Tracer sur le document 2 de l'annexe la courbe d'étalonnage $A = f(c)$.

Données utiles échelle : 1 cm pour 0,10 en absorbance et 1 cm pour $0{,}50 \times 10^{-5}$ mol · L^{-1}

On place les cinq points $(c\,;A)$ du tableau, puis on trace à la règle la droite qui passe au plus près de tous les points.

Les points sont alignés sur une droite qui passe par l'origine (graphique ci-dessous).

MÉTHODE
Graduer les axes selon l'échelle imposée, indiquer grandeur et unité sur chaque axe, marquer les points par des croix. Ne jamais relier les points à main levée.



2.4 · Document 2 de l'annexe : courbe d'étalonnage

2.4.2 La loi de Beer-Lambert est vérifiée. Expliquer à l'aide du graphique pourquoi elle s'énonce sous la forme $A = k \cdot c$.

La courbe d'étalonnage est une droite passant par l'origine : l'absorbance A est proportionnelle à la concentration c.

Une relation de proportionnalité s'écrit $A = k \cdot c$, où k est le coefficient directeur de la droite. Avec le point S4 :

$$k = \frac{0{,}54}{2{,}0 \times 10^{-5}} = 2{,}7 \times 10^{4}\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Droite passant par l'origine, donc $A = k \cdot c$ avec $k = 2{,}7 \times 10^{4}$ L · mol^{-1}.

PIÈGE
« C'est une droite » ne suffit pas. Une droite qui ne passe pas par l'origine traduit une relation affine, pas une proportionnalité.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs pour k, comme les concentrations du tableau. L'absorbance n'a pas d'unité : k s'exprime en L · mol^{-1}.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.54}{2.0 \times 10^{-5}} \approx 27000$$

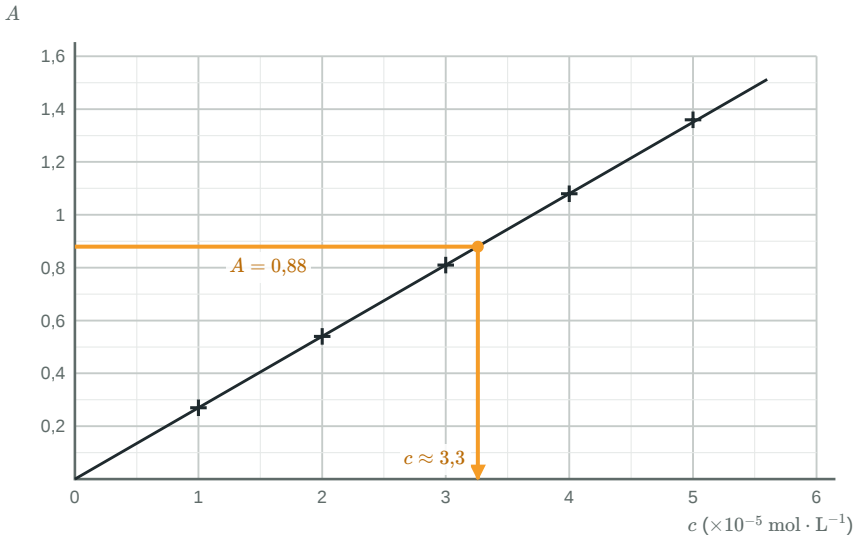
2.5 Déterminer, en détaillant la méthode, la concentration en vanilline de la solution à doser.

Données utiles $A = 0{,}88$; $k = 2{,}7 \times 10^4\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ (2.4.2)

Sur la droite d'étalonnage, on repère le point d'ordonnée $A = 0{,}88$ et on lit son abscisse : $c \approx 3{,}3 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Vérification par le calcul : $c = \dfrac{A}{k} = \dfrac{0{,}88}{2{,}7 \times 10^4} = 3{,}26 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$$c = 3{,}3 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$



2.5 · Lecture graphique de la concentration de la solution à doser

PIÈGE

La lecture n'est valable que si A est compris dans la gamme étalon (ici entre 0,27 et 1,36) : c'est bien le cas.

MÉTHODE

Dosage par étalonnage : 1) tracer $A = f(c)$ avec les solutions étalons ; 2) mesurer A pour la solution inconnue ; 3) lire c sur la droite, les traits de lecture restant visibles.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.88}{2.7 \times 10^4} \approx 3.259259 \times 10^{-5}$$

2.6 Compte tenu du protocole suivi, en déduire la concentration en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ de vanilline dans l'échantillon de vanille liquide du commerce.

Données utiles $c = 3{,}26 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2.5, valeur non arrondie) ; $V_0 = 1{,}0$ mL d'échantillon ; $V_1 = 250$ mL de solution à doser ; $M = 152\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Toute la vanilline contenue dans $V_0 = 1{,}0$ mL d'échantillon se retrouve, après les extractions, dans la fiole de $V_1 = 250$ mL. La quantité de vanilline est conservée :

$$c_0\, V_0 = c\, V_1 \quad \text{donc} \quad c_0 = c\,\frac{V_1}{V_0}$$

La concentration en masse s'obtient en multipliant par la masse molaire :

$$t_0 = c_0\, M = c\,\frac{V_1}{V_0}\, M = 3{,}26 \times 10^{-5} \times \frac{250}{1{,}0} \times 152 = 1{,}2\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$t_0 = 1{,}2\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ de vanilline dans l'échantillon du commerce.

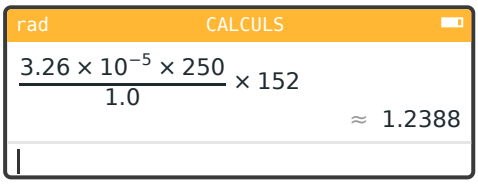
PIÈGE

Oublier le facteur 250 : la solution dosée est 250 fois moins concentrée que l'échantillon. Les 10 mL d'eau et les volumes de solvant n'interviennent pas dans ce facteur.

COMPRENDRE

Avec la valeur arrondie $3{,}3 \times 10^{-5}$, on trouverait $1{,}3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. On garde donc la valeur non arrondie dans le calcul et on n'arrondit qu'à la fin, à deux chiffres significatifs.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Etude de la fabrication d'un ponton en milieu marin

Bac S 2013 Asie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 QCM : sur le tableau de l'annexe à rendre avec la copie, cocher les bonnes réponses en précisant à chaque fois le numéro du document utilisé.

- **1. Non** (doc. 3) : l'attaque est forte, moyenne ou faible selon la zone du pilier.
- **2. Non** (doc. 2) : le dioxygène est maximal dans la zone d'aération et minimal dans le sol.
- **3. Non** (doc. 3) : la base, enfoncée dans le sol, est la zone d'attaque faible.
- **4. Oui** (doc. 4) : après 5 ans, la perte vaut environ 0,16 mm en mer chaude contre 0,06 mm en mer froide.
- **5. Non** (doc. 1) : la réduction consomme du dioxygène, absent de l'équation proposée, qui ne conserve d'ailleurs pas l'élément oxygène. En ajoutant $\mathrm{Fe} \longrightarrow \mathrm{Fe}^{2+} + 2\,\mathrm{e}^-$ et $\frac{1}{2}\,\mathrm{O_2} + 2\,\mathrm{e}^- + \mathrm{H_2O} \longrightarrow 2\,\mathrm{HO}^-$:

$$\mathrm{Fe\,(s)} + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{O_2\,(g)} + \mathrm{H_2O\,(l)} \longrightarrow \mathrm{Fe}^{2+}\,\mathrm{(aq)} + 2\,\mathrm{HO}^-\,\mathrm{(aq)}$$

- **6. Oui** (doc. 4) : la courbe I atteint 0,2 mm à la date 5 ans.

Réponses : 1 Non (doc. 3) ; 2 Non (doc. 2) ; 3 Non (doc. 3) ; 4 Oui (doc. 4) ; 5 Non (doc. 1) ; 6 Oui (doc. 4).

PIÈGE
Oublier la colonne « Documents » : le barème évalue la réponse et le document cité ensemble. Une case cochée sans numéro de document ne rapporte pas tous les points.

COMPRENDRE
Question 3 : la « base » du pilier est sa partie enterrée. Le dioxygène y est minimal (doc. 2), ce qui explique l'attaque faible relevée dans le doc. 3 : les deux documents se confirment.

MÉTHODE
Pour vérifier une équation d'oxydoréduction : écrire les deux demi-équations dans le sens réel (oxydation du fer, réduction du dioxygène), ajuster pour échanger autant d'électrons, puis additionner. Contrôler ensuite les éléments et les charges.

Questions	Réponses	Documents
1. La corrosion des piliers métalliques est la même sur toute leur hauteur.	☐ Oui ☑ Non	Doc. 3
2. La quantité de dioxygène est identique sur toute la hauteur du pilier métallique.	☐ Oui ☑ Non	Doc. 2
3. La corrosion est plus importante à la base du pilier métallique.	☐ Oui ☑ Non	Doc. 3
4. La température moyenne a une influence sur la perte d'épaisseur d'acier au cours du temps.	☑ Oui ☐ Non	Doc. 4
5. L'équation d'oxydoréduction associée à la corrosion humide peut être écrite : $Fe(s) + H_2O(l) \rightarrow 2\,HO^-(aq) + Fe^{2+}(aq)$	☐ Oui ☑ Non	Doc. 1
6. Un pilier métallique perd 0,2 mm d'épaisseur au bout de 5 ans en présence d'une atmosphère humide et polluée.	☑ Oui ☐ Non	Doc. 4

1 · Annexe à rendre avec la copie, complétée (réponses de l'élève en orange)

2 Question de synthèse : donner, en justifiant, les caractéristiques de la corrosion des piliers métalliques au bord de la mer, puis proposer des pistes pour augmenter la durée de vie du ponton (au minimum 20 lignes, en utilisant tous les documents).

Données utiles doc. 4, à 5 ans : I 0,20 mm ; II 0,16 mm ; III 0,06 mm ; IV 0,035 mm ; V 0,01 mm (lectures graphiques)

Introduction. Les piliers sont en acier, alliage formé surtout de fer (doc. 1). Au contact de l'eau et du dioxygène, le fer s'oxyde : la rouille se forme et le métal perd de l'épaisseur.

1. Un phénomène électrochimique. Des piles se créent à la surface de l'acier (doc. 1). À l'anode, le fer est oxydé et se consomme : $\mathrm{Fe} \longrightarrow \mathrm{Fe}^{2+} + 2\,\mathrm{e}^-$. À la cathode, le dioxygène est réduit :

PIÈGE
Recopier les documents sans les relier. Le correcteur attend des liens : dioxygène du doc. 2 pour expliquer les zones du doc. 3, comparaison chiffrée des courbes du doc. 4, demi-équations du doc. 1.

$\frac{1}{2}\,O_2 + H_2O + 2\,e^- \longrightarrow 2\,HO^-$. L'eau de mer, riche en ions, est un électrolyte très conducteur : elle favorise ces piles.

2. Une attaque inégale selon la hauteur. La teneur en dioxygène décroît de la zone d'aération jusqu'au sol (doc. 2). Le doc. 3 montre une attaque forte dans la zone d'embruns, où l'acier mouillé reçoit le plus de dioxygène, et dans la zone de basses eaux ; moyenne dans la zone de marnage et en immersion permanente ; faible dans le sol, pauvre en dioxygène.

3. L'influence du milieu. D'après le doc. 4, la perte d'épaisseur en 5 ans vaut 0,20 mm en atmosphère humide et polluée, 0,16 mm en mer chaude, 0,06 mm en mer froide et 0,01 mm en atmosphère pure et sèche. Humidité, pollution et température élevée accélèrent donc la corrosion.

4. Pistes pour prolonger la durée de vie. On ne peut agir ni sur la température ni sur la salinité de la mer. On peut en revanche :

- prévoir une surépaisseur d'acier : dans le pire cas du doc. 4, la perte moyenne est $\frac{0{,}2}{5} = 0{,}04$ mm par an, soit 2 mm en 50 ans ;
- isoler l'acier par une peinture ou un revêtement, en priorité dans les zones d'embruns et de basses eaux ;
- fixer sur les piliers des blocs de zinc, métal plus réducteur que le fer, qui s'oxydent à sa place (anodes sacrificielles) ;
- choisir un acier inoxydable, efficace mais coûteux.

Regard critique. Le doc. 4 concerne des atmosphères, non l'acier immergé : la surépaisseur calculée n'est qu'un ordre de grandeur. De plus, la zone de basses eaux est plus attaquée que celle de marnage, pourtant mieux aérée : le dioxygène n'explique pas tout.

Corrosion électrochimique, inégale selon la hauteur, accélérée par le dioxygène, le sel, la chaleur et la pollution ; protections : surépaisseur, revêtement, anode sacrificielle, acier inoxydable.

COMPRENDRE

L'anode sacrificielle relève des connaissances personnelles : dans la pile zinc-fer, le zinc, plus réducteur, est l'anode et s'oxyde ; le fer devient cathode et reste intact, comme l'électrode protégée décrite dans le doc. 1.

MÉTHODE

Une synthèse se construit en trois temps : problème posé, réponse organisée en paragraphes titrés qui citent chaque document par son numéro avec une valeur lue, puis conclusion critique. Aucun document ne doit rester inutilisé.

À LA CALCULATRICE

