Corrigé complet — Bac S 2014 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

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

Ex 1	**ChemCam** Propriétés du laser · Domaines des ondes électromagnétiques · Puissance et énergie · Niveaux d'énergie quantifiés · Énergie du photon · Spectre d'émission atomique	5 pts	50 min	6 questions	p. 2
Ex 2	**La chimie au service de la protection des plantes** Groupes caractéristiques · Mécanisme réactionnel · Réaction acide-base · Stéréoisomérie · Titrage colorimétrique	10 pts	1 h 40	11 questions	p. 5
Ex 3	**La communication chez les baleines** Célérité du son · Guide d'ondes sonores · Niveau d'intensité sonore · Atténuation en décibels · Exploitation de documents	5 pts	50 min	2 questions	p. 10
Ex 4	**Spécialité : Le chant des dunes** Émission d'un son par vibration · Période et fréquence · Vitesse et distance parcourue · Validation d'un modèle · Incertitudes de mesure · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 12

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.

ChemCam

Bac S 2014 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Donner deux propriétés du laser.

Deux propriétés parmi :

- la lumière émise est **monochromatique** (une seule longueur d'onde) ;
- le faisceau est très **directif** (il diverge très peu) ;
- l'énergie est **concentrée dans l'espace** : forte puissance par unité de surface ;
- pour un laser pulsé, l'énergie est aussi **concentrée dans le temps** (impulsions très brèves).

Le laser émet une lumière monochromatique, en un faisceau directif.

COMPRENDRE
Le laser et ses propriétés figuraient au programme de Terminale S. Ils ne sont plus étudiés en spécialité depuis 2021 ; la suite de l'exercice (photon, niveaux d'énergie, spectres) reste au programme.

1.2 Le laser de ChemCam émet-il de la lumière visible ? Justifier.

Données utiles document 1 : $\lambda = 1067$ nm

Dans le vide, le domaine visible s'étend d'environ 400 nm à 800 nm.

Le laser émet à $\lambda = 1067\ \text{nm} > 800\ \text{nm}$.

Le rayonnement est **infrarouge** : le laser de ChemCam n'émet pas de lumière visible.

PIÈGE
Répondre « non » sans citer les bornes du visible ne rapporte pas les points : « justifier » demande de comparer 1067 nm à 800 nm et de nommer le domaine.

1.3 Montrer que les caractéristiques du faisceau laser permettent d'obtenir une irradiance suffisante pour créer un plasma.

Données utiles document 1 : $E = 15$ mJ ; $\Delta t = 5$ ns ; $D = 350\ \mu\text{m}$; seuil $1{,}0\ \text{GW}\cdot\text{cm}^{-2}$

Puissance d'une impulsion : $P = \dfrac{E}{\Delta t} = \dfrac{15\times10^{-3}}{5\times10^{-9}} = 3\times10^{6}\ \text{W}$

Surface éclairée (disque de diamètre $D = 350\ \mu\text{m} = 3{,}50\times10^{-2}$ cm) :

$$S = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi\times\left(\frac{3{,}50\times10^{-2}}{2}\right)^2 = 9{,}6\times10^{-4}\ \text{cm}^2$$

Irradiance (puissance par unité de surface) :

$$I = \frac{P}{S} = \frac{E}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2\Delta t} = \frac{3\times10^{6}}{9{,}6\times10^{-4}} = 3\times10^{9}\ \text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$$

$I \approx 3\ \text{GW}\cdot\text{cm}^{-2} > 1{,}0\ \text{GW}\cdot\text{cm}^{-2}$: l'irradiance dépasse le seuil, le plasma peut se former.

PIÈGE
Le seuil est en $\text{GW}\cdot\text{cm}^{-2}$: convertir D en centimètres (ou le seuil en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$). Utiliser le rayon $D/2$, pas le diamètre, dans l'aire du disque.

COMPRENDRE
Un seul chiffre significatif : la durée 5 ns n'en a qu'un. L'énergie est modeste (15 mJ), mais délivrée en quelques nanosecondes sur une tache minuscule : c'est la double concentration qui donne des gigawatts par centimètre carré.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{15\times10^{-3}}{5\times10^{-9}} \approx 3000000$$

$$\pi\times\left(\frac{3.50\times10^{-2}}{2}\right)^2 \approx 9.621128\times10^{-4}$$

$$\frac{15\times10^{-3}}{\pi\times\left(\frac{3.50\times10^{-2}}{2}\right)^2\times5\times10^{-9}} \approx 3.118138\times10^{9}$$

2.1 Justifier pourquoi deux atomes (ou ions) différents ne donnent pas le même spectre d'émission.

L'énergie d'un atome ou d'un ion est quantifiée : elle ne prend que certaines valeurs, les niveaux d'énergie, qui sont propres à chaque espèce.

Quand l'atome passe d'un niveau E_j à un niveau inférieur E_i, il émet un photon d'énergie

$$\Delta E = E_j - E_i = \frac{h\,c}{\lambda}$$

Des niveaux différents donnent des écarts ΔE différents, donc des longueurs d'onde λ différentes.

Chaque atome ou ion a ses propres niveaux d'énergie, donc ses propres raies : son spectre d'émission le caractérise.

COMPRENDRE
C'est ce qui rend l'analyse possible : repérer les longueurs d'onde des raies du plasma revient à lire la signature de chaque élément présent dans la roche.

2.2 À l'aide du document 2, identifier, pour l'ion Ca^+, la transition énergétique correspondant à la raie de longueur d'onde 423 nm.

Données utiles $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00\times10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}602\times10^{-19}$ J ; $\lambda = 423$ nm

Énergie du photon émis :

$$\Delta E = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}63\times10^{-34}\times3{,}00\times10^{8}}{423\times10^{-9}} = 4{,}70\times10^{-19}\ \text{J}$$

En électronvolts : $\Delta E = \dfrac{4{,}70\times10^{-19}}{1{,}602\times10^{-19}} = 2{,}94$ eV

Cette énergie est l'écart entre deux niveaux du document 2. Seul l'écart $2{,}94 - 0{,}00 = 2{,}94$ eV convient.

La raie à 423 nm correspond à la transition du niveau 2,94 eV vers le niveau fondamental 0,00 eV.

PIÈGE
Chercher un niveau d'énergie 2,94 eV sans raisonner sur un écart : ici la transition aboutit au fondamental, mais ce n'est pas général. En émission, la flèche descend.

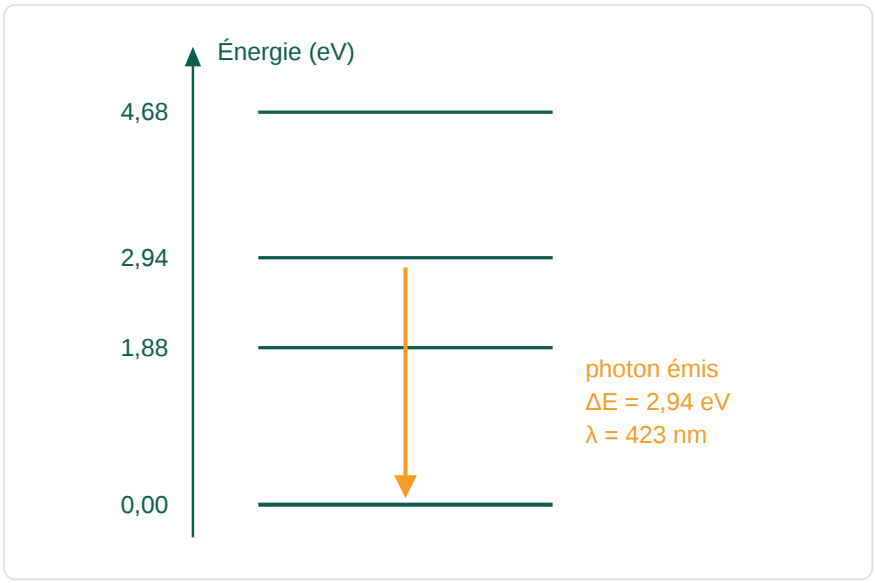
MÉTHODE
Raie d'émission : 1) $\Delta E = hc/\lambda$ avec λ en mètres ; 2) conversion en eV en divisant par $1{,}602\times10^{-19}$; 3) recherche des deux niveaux dont la différence vaut ΔE.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{423\times10^{-9}} \approx 4.702128\times10^{-19}$$

$$\frac{\frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{423\times10^{-9}}}{1.602\times10^{-19}} \approx 2.935161$$



2.2 · Document 2 : transition associée à la raie à 423 nm

2.3 Le document 4 présente le spectre de la roche témoin. L'analyseur spectral de ChemCam fonctionne-t-il correctement ? Justifier.

Données utiles document 3 : raies de Ca^+ à 394 ; 397 ; 423 ; 443 ; 444 et 446 nm

La roche témoin contient du calcium : si l'analyseur fonctionne, son spectre doit présenter toutes les raies du document 3.

Sur le document 4, l'axe porte les repères 400, 420 et 440 nm. On lit la position des pics :

Raie du calcium (nm)	394	397	423	443	444	446
Pic du document 4	B	D	F	J	K	L

Les six raies attendues sont présentes, aux bonnes longueurs d'onde.

L'analyseur spectral détecte bien l'élément calcium de la roche témoin : il fonctionne correctement.

PIÈGE

Près de 394 nm, deux pics voisins (B et C) : on retient B, beaucoup plus intense, qui forme avec D le doublet caractéristique de l'ion Ca^+. Le petit pic C appartient à un autre élément.

COMPRENDRE

Les pics A, E, G et H ne figurent pas dans le document 3 : la roche contient d'autres éléments que le calcium. Leur présence ne remet pas en cause le test.

La chimie au service de la protection des plantes

Bac S 2014 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

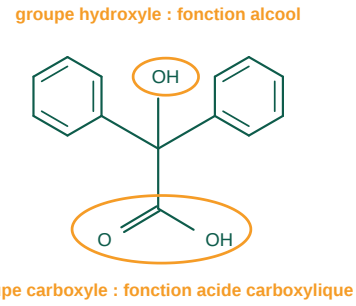
1.1 Recopier la formule de l'acide benzylique, entourer les deux groupes caractéristiques et nommer la fonction organique associée à chacun.

La molécule porte deux groupes caractéristiques, entourés sur la formule :

- le groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$, lié à un carbone tétraédrique : fonction **alcool** ;
- le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$: fonction **acide carboxylique**.

Groupe hydroxyle (alcool) et groupe carboxyle (acide carboxylique).

PIÈGE
Entourer séparément le $\mathrm{C{=}O}$ et le $-\mathrm{OH}$ du carboxyle et annoncer « cétone » et « alcool ». Portés par le même carbone, ils forment un seul groupe : le carboxyle.



1.1 · Acide benzylique : les deux groupes caractéristiques

1.2 Recopier l'étape (a) du mécanisme de la synthèse de l'acide benzylique et la compléter par les flèches courbes nécessaires. Justifier.

Données utiles $\chi(\mathrm{C}) < \chi(\mathrm{O})$

Une flèche courbe part d'un site donneur de doublet et pointe vers un site accepteur.

- Site donneur : l'atome d'oxygène de l'ion $\mathrm{HO^-}$, qui porte trois doublets non liants et une charge négative.
- Site accepteur : un atome de carbone lié à l'oxygène par une double liaison. Comme $\chi(\mathrm{C}) < \chi(\mathrm{O})$, la liaison $\mathrm{C{=}O}$ est polarisée et ce carbone porte une charge partielle δ^+.

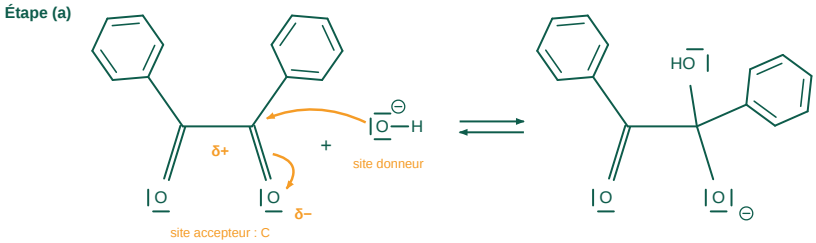
Première flèche : d'un doublet non liant de l'oxygène de $\mathrm{HO^-}$ vers ce carbone (formation de la liaison $\mathrm{C{-}O}$).

Deuxième flèche : de la double liaison $\mathrm{C{=}O}$ vers son atome d'oxygène. Le carbone garde ainsi quatre liaisons et l'oxygène reçoit un troisième doublet non liant, donc la charge négative.

Deux flèches courbes : doublet de $\mathrm{HO^-}$ vers le carbone δ^+, puis doublet de $\mathrm{C{=}O}$ vers l'oxygène.

PIÈGE
Dessiner la flèche du carbone vers $\mathrm{HO^-}$, ou la faire partir de la charge $\ominus$. Une flèche courbe représente le déplacement d'un doublet : elle part toujours d'un doublet (non liant ou liant).

MÉTHODE
Pour placer les flèches, comparer réactifs et produits : chaque liaison formée ou rompue correspond à une flèche. Vérifier ensuite les charges et la conservation des doublets.



1.2 · Étape (a) complétée par les deux flèches courbes

1.3 Dans l'étape (b) du mécanisme, identifier le réactif A et préciser la nature de la réaction. Justifier.

Entre le réactif et le produit organiques, le groupe carboxylate $-COO-$ devient le groupe carboxyle $-COOH$: il a capté un ion H^+. Il se forme en même temps une molécule d'eau.

La conservation des éléments et de la charge impose pour A la formule H_3O^+ : l'ion oxonium cède un ion H^+ et devient H_2O.

Il y a transfert d'un ion H^+ de l'acide H_3O^+ (couple H_3O^+ / H_2O) vers la base $-COO-$ (couple $R-COOH$ / $R-COO^-$).

A est l'ion oxonium H_3O^+ ; l'étape (b) est une réaction acide-base.

COMPRENDRE
La synthèse se fait en milieu basique : on obtient d'abord l'ion carboxylate. L'acide benzylique n'apparaît qu'après acidification du milieu, d'où l'étape (b).

1.4 Sans les représenter, montrer que la phéromone du document 2 comporte des énantiomères et des diastéréoisomères.

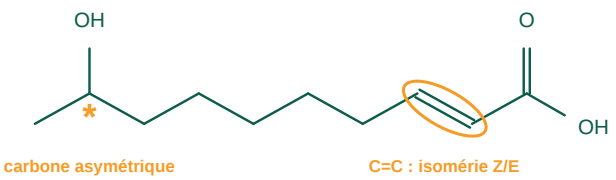
Énantiomères. L'atome de carbone n° 9, qui porte le groupe hydroxyle, est lié à quatre groupes différents : $-OH$, $-H$, $-CH_3$ et le reste de la chaîne. C'est un carbone asymétrique, et c'est le seul de la molécule. La molécule est donc chirale : elle existe sous deux formes images l'une de l'autre dans un miroir et non superposables, qui sont des énantiomères.

Diastéréoisomères. La double liaison $C=C$ (carbones 2 et 3) a ses deux carbones liés chacun à deux groupes différents : $-H$ et $-COOH$ pour l'un, $-H$ et la chaîne carbonée pour l'autre. Il existe donc un isomère Z et un isomère E, qui ne sont pas images l'un de l'autre dans un miroir : ce sont des diastéréoisomères.

Un carbone asymétrique : énantiomères. Une double liaison $C=C$ avec isomérie Z/E : diastéréoisomères.

PIÈGE
Citer le carbone asymétrique sans nommer ses quatre groupes, ou la double liaison sans vérifier que chaque carbone porte deux groupes différents : l'argument est alors incomplet.

COMPRENDRE
Carbone asymétrique et énantiomères ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de terminale. Ces questions se traitent ici dans le cadre du programme de 2014.



1.4 · Phéromone du document 2 : les deux sources de stéréoisomérie

1.5 Un seul des énantiomères de cette phéromone est efficace dans les pièges. Proposer une explication.

D'après le document 4, une molécule n'a d'effet biologique que si elle se fixe sur un site récepteur de l'organisme, comme une clé dans une serrure. Ce site a lui-même une géométrie spatiale déterminée.

Deux énantiomères n'ont pas la même disposition dans l'espace des groupes portés par le carbone asymétrique. Un seul présente ses groupes face aux zones correspondantes du récepteur de l'insecte mâle ; l'autre ne peut pas s'y ajuster.

Seul l'énantiomère dont la géométrie est complémentaire du site récepteur de l'insecte est reconnu : lui seul est attractif.

1.6 Quels critères faut-il prendre en compte pour choisir un mode de protection des plantes contre les insectes ? Lequel semble le mieux adapté parmi ceux proposés ? Justifier.

Critères à examiner (documents 1 et 2) :

- l'efficacité contre l'insecte visé ;
- la toxicité pour l'homme et pour les autres espèces (le DDT est accusé d'être cancérigène et reprotoxique) ;
- la persistance : un produit peu dégradable s'accumule dans la chaîne alimentaire et contamine les milieux naturels ;
- la quantité à utiliser et le coût.

Le DDT, persistant et toxique, est interdit. L'acide benzylique est moins persistant, mais il reste un produit répandu sur les cultures. Les pièges à phéromones agissent à dose infime, ne visent que l'espèce nuisible et ne sont pas épandus sur les plantes.

Le piège à phéromones paraît le mieux adapté : sélectif, à très faible dose, sans dispersion dans le milieu, malgré un coût plus élevé.

MÉTHODE
Question de synthèse : relever les critères dans les documents, les appliquer à chaque solution proposée, puis conclure par un choix argumenté et nuancé (ici le coût).

2.1 En quoi l'usage d'une solution « anti-chlorose » permet-il de lutter contre la chlorose des végétaux ?

D'après le document 5, la chlorose est due à un manque de chlorophylle, qui peut provenir d'une insuffisance en fer, élément indispensable à sa synthèse. La solution, riche en ions fer (II), apporte cet élément à la plante par les feuilles ou par le sol.

L'apport d'ions Fe^{2+} comble la carence en fer : la plante peut de nouveau synthétiser la chlorophylle.

2.2 L'équivalence est obtenue pour un volume versé $V_E = 9{,}5$ mL. Comment est-elle repérée ?

Seuls les ions permanganate $\mathrm{MnO_4}^-$, apportés par la burette, sont colorés (violet).

Avant l'équivalence, ils sont le réactif limitant : ils sont consommés dès qu'ils sont versés et le contenu de l'erlenmeyer reste presque incolore. À partir de l'équivalence, il n'y a plus d'ions Fe^{2+} : les ions $\mathrm{MnO_4}^-$ ajoutés ne réagissent plus.

L'équivalence est repérée par la persistance d'une teinte violette (rose pâle) dans l'erlenmeyer, à la première goutte en excès.

COMPRENDRE
Aucun indicateur coloré n'est nécessaire : le réactif titrant joue ce rôle. C'est un titrage colorimétrique, repéré par un changement de couleur.

2.3 À partir de ce titrage, le jardinier détermine le nom du produit commercial. Expliquer sa démarche, détailler les calculs et donner le nom du produit.

Données utiles $V_1 = 20{,}0$ mL ; $c_2 = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 9{,}5$ mL ; dilution au 1/30 ; $M(\text{Fe}) = 56\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Démarche : calculer la concentration c' en ions Fe^{2+} de la solution diluée S', en déduire la concentration c de S, puis sa teneur en fer t en $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, à comparer au tableau du document 5.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation du titrage :

$$\frac{n(\text{Fe}^{2+})}{5} = \frac{n(\text{MnO}_4^-)}{1} \quad \text{soit} \quad c'\,V_1 = 5\,c_2\,V_E$$

$$c' = \frac{5\,c_2\,V_E}{V_1} = \frac{5 \times 5{,}0 \times 10^{-3} \times 9{,}5}{20{,}0} = 1{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

S a été diluée 30 fois : $c = 30\,c' = 0{,}36\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

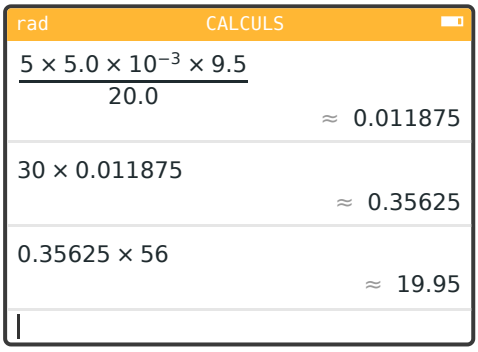
Teneur en fer : $t = c \times M(\text{Fe}) = 0{,}356 \times 56 = 20\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

$t = 20\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: le produit est le « Fer Soni H39F ».

PIÈGE
Oublier le coefficient 5 de l'équation, ou oublier la dilution : sans le facteur 30 on trouve $0{,}67\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur absente du tableau.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_2, V_E et $M(\text{Fe})$. On garde les valeurs non arrondies dans les calculs intermédiaires. Les deux volumes peuvent rester en mL : seul leur rapport intervient.

À LA CALCULATRICE



2.4.1 Indiquer dans quel sens chacune des deux erreurs de manipulation modifie la valeur expérimentale de V_E. Justifier.

À l'équivalence : $V_E = \dfrac{n(\text{Fe}^{2+})}{5\,c_2}$, où $n(\text{Fe}^{2+})$ est la quantité d'ions fer (II) réellement prélevée et c_2 la concentration réelle de la solution titrante.

- Solution titrante diluée par mégarde : c_2 est plus petite que prévu. Pour apporter la même quantité d'ions MnO_4^-, il faut verser un volume plus grand : V_E augmente.
- Prélèvement trop faible de solution à doser : $n(\text{Fe}^{2+})$ est plus petite. Il faut moins d'ions MnO_4^- pour tout consommer : V_E diminue.

Solution titrante diluée : V_E trop grand. Volume prélevé trop faible : V_E trop petit.

2.4.2 Si une seule erreur de manipulation explique la valeur très élevée de la concentration en ions Fe^{2+}, laquelle a été commise ? Justifier.

L'expérimentateur ignore l'erreur : il calcule la concentration avec les valeurs prévues de c_2 et de V_1, soit $c = \dfrac{150\, c_2\, V_E}{V_1}$. La valeur obtenue est donc proportionnelle au volume V_E mesuré.

Une concentration très élevée provient d'un volume V_E trop grand. D'après la question 2.4.1, seule la dilution de la solution titrante augmente V_E.

La solution de permanganate de potassium a été diluée par mégarde.

PIÈGE

Raisonner comme si le calcul tenait compte de l'erreur. Les valeurs de c_2 et de V_1 utilisées dans le calcul sont celles du protocole : seul V_E, lu sur la burette, change.

La communication chez les baleines

Bac S 2014 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 À partir des documents, évaluer la profondeur du couloir de communication des baleines.

Données utiles document 1 (principe du SOFAR) ; document 2 (vitesse du son en fonction de la profondeur)

D'après le document 1, le son reste piégé dans une zone où sa vitesse est plus grande **à la fois** dans les couches situées au-dessus et dans celles situées au-dessous. Le couloir SOFAR est donc centré sur la profondeur où la vitesse du son est **minimale**.

Sur le document 2, la vitesse du son diminue depuis la surface (environ $1515\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$), passe par un minimum voisin de $1480\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$ à 1 km de profondeur, puis augmente régulièrement jusqu'au fond.

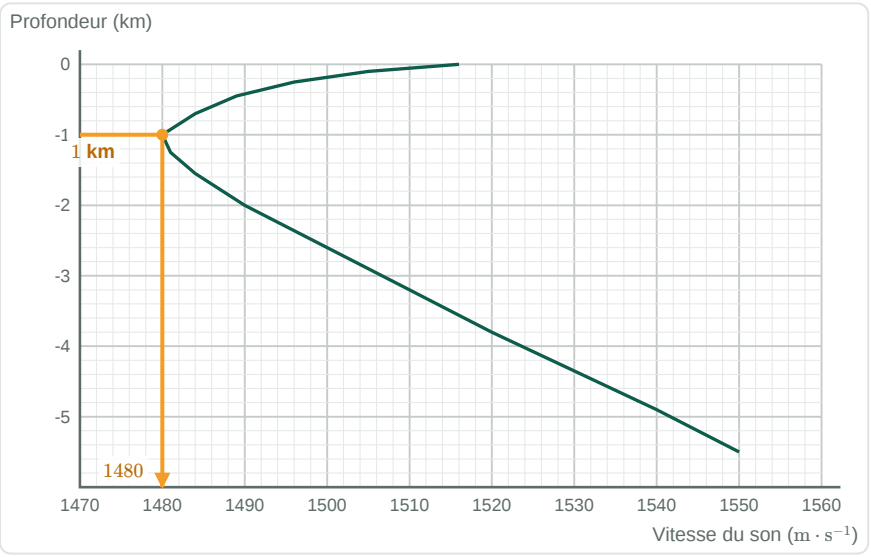
Le texte indique que le couloir a une hauteur de quelques centaines de mètres : il s'étend de part et d'autre de ce minimum, à peu près entre $0{,}8$ km et $1{,}2$ km.

Le couloir de communication se situe à environ 1 km de profondeur.

PIÈGE
Sur le document 2, la profondeur est en ordonnée et la vitesse en abscisse. Le minimum de vitesse est le point de la courbe le plus à gauche, pas le plus bas.

COMPRENDRE
Une onde qui pénètre dans un milieu où elle va plus vite est déviée (réfraction) et finit par revenir vers la zone lente. Le son oscille ainsi autour de la profondeur de vitesse minimale.

MÉTHODE
Traduire d'abord le texte en critère graphique : « vitesse plus grande au-dessus et au-dessous » signifie « minimum de la courbe ». La lecture du document 2 devient alors immédiate.



1 · Document 2, avec la lecture du minimum de vitesse

2 Évaluer la distance maximale entre deux baleines pour qu'elles puissent communiquer.

Données utiles document 3 : chant de la baleine, $f = 4000$ Hz, $L_{\text{émis}} = 170$ dB, seuil d'audibilité $L_{\text{seuil}} = 50$ dB ; document 4 : absorption de l'eau de mer en fonction de la fréquence

Le chant est émis à la fréquence $f = 4000$ Hz. Sur le document 4, l'absorption acoustique de l'eau de mer à cette fréquence vaut $\alpha \approx 0{,}2 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$: le niveau sonore baisse de $0{,}2$ dB à chaque kilomètre parcouru.

Dans le couloir SOFAR, le son est guidé : on admet que l'absorption par l'eau est la seule cause d'affaiblissement. À la distance d, le niveau reçu est $L = L_{\text{émis}} - \alpha\, d$.

La seconde baleine entend le chant tant que $L \geqslant L_{\text{seuil}}$. La perte maximale tolérée est donc :

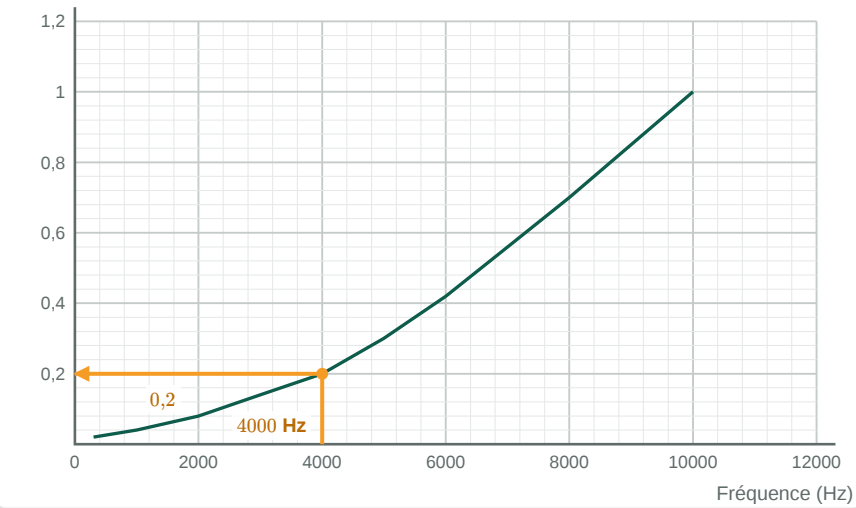
$$L_{\text{émis}} - L_{\text{seuil}} = 170 - 50 = 120 \text{ dB}$$

La distance maximale vérifie $\alpha\, d_{\max} = L_{\text{émis}} - L_{\text{seuil}}$, soit :

$$d_{\max} = \frac{L_{\text{émis}} - L_{\text{seuil}}}{\alpha} = \frac{120}{0{,}2} = 6 \times 10^2 \text{ km}$$

Cet ordre de grandeur est cohérent avec l'introduction, qui annonce des chants perçus à plusieurs centaines de kilomètres.

$d_{\max} \approx 6 \times 10^2$ km



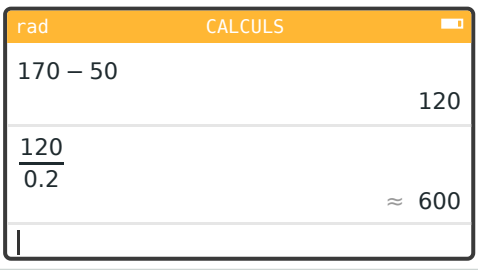
2 · Document 4, avec la lecture à 4000 Hz

PIÈGE
Prendre la ligne du grand dauphin, ou diviser 170 dB par l'absorption : le son n'a pas à tomber à 0 dB, seulement au seuil d'audibilité de 50 dB.

COMPRENDRE
L'absorption est lue avec un seul chiffre significatif : le résultat est un ordre de grandeur, 6×10^2 km. Il suppose aussi que les deux baleines restent dans le couloir.

MÉTHODE
Une absorption en $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$ se traite par proportionnalité : perte (dB) = absorption × distance. Les niveaux en décibels se soustraient directement, sans revenir aux intensités.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Le chant des dunes

Bac S 2014 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

Q Questions préalables. Comment vérifier dans le désert que le son d'une dune « chantante » est dû à une avalanche de sable et non au vent ? Par analogie avec un haut-parleur, expliquer comment l'écoulement des grains peut générer un son.

Avalanche ou vent. Il faut séparer les deux causes possibles :

- un jour sans vent, on provoque une avalanche en poussant du sable depuis la crête : si la dune chante, le vent n'est pas nécessaire ;
- un jour de vent, sans avalanche, on écoute la dune : si elle reste silencieuse, le vent ne suffit pas.

Analogie avec le haut-parleur. La membrane d'un haut-parleur effectue un va-et-vient qui met en vibration l'air à son contact : cette vibration se propage, c'est le son (document 2).

Lors d'une avalanche, la couche supérieure de grains glisse sur la couche inférieure : chaque grain doit monter sur le grain du dessous, puis redescend dans le creux suivant (document 1, figure 2). La surface de la dune se soulève et retombe donc périodiquement.

> La surface de la dune joue le rôle de la membrane : son mouvement périodique de montée et de descente fait vibrer l'air et produit un son de même fréquence.

PIÈGE
Répondre seulement « la dune vibre ». L'analogie attendue relie deux éléments précis, membrane et surface du sable, et un même mouvement : un va-et-vient périodique au contact de l'air.

MÉTHODE
Pour identifier la cause d'un phénomène, on ne fait varier qu'un facteur à la fois : une expérience avec avalanche et sans vent, une autre avec vent et sans avalanche.

P Problème. En estimant la distance parcourue par un grain passant d'un creux à un autre (schéma attendu), montrer que $f = 0{,}4\sqrt{\dfrac{g}{d}}$. Cette relation est-elle compatible avec les mesures effectuées sur site ? Argumenter et exercer un regard critique.

Données utiles $v = 0{,}4\sqrt{g\,d}$ (document 1) ; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; fréquences mesurées (document 3) ; tailles d des grains et leurs incertitudes (document 4)

1. Distance parcourue. Les grains sont des sphères identiques, empilées de façon compacte : deux creux voisins de la couche inférieure sont séparés par un grain, donc distants d'un diamètre. Un grain qui passe d'un creux au suivant parcourt la distance d (schéma).

2. Expression de la fréquence. Pendant ce trajet, la surface monte puis redescend une fois : sa durée est la période T du son. La vitesse étant constante :

$$v = \frac{d}{T} \quad \text{donc} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{v}{d} = \frac{0{,}4\sqrt{g\,d}}{d}$$

Comme $d = \sqrt{d}\times\sqrt{d}$, on obtient bien $f = 0{,}4\sqrt{\dfrac{g}{d}}$.

3. Confrontation aux mesures. On calcule la fréquence prévue pour la taille d annoncée et pour les deux bornes de son intervalle, avec d en mètres. Exemple pour Oméga 1 ($d = 160\ \mu\text{m}$) :

$$f = 0{,}4\sqrt{\frac{10}{160\times10^{-6}}} = 1{,}0\times10^{2}\ \text{Hz}$$

La fréquence diminue quand d augmente : la plus grande taille donne la plus petite fréquence.

PIÈGE
Laisser d en micromètres dans le calcul : $160\ \mu\text{m} = 160\times10^{-6}$ m. Autre erreur : associer d maximal à la fréquence maximale, alors que f décroît quand d augmente.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs suffisent pour les fréquences prévues : d n'est connue qu'à 7 à 35 % près. Comparer une mesure à un modèle, c'est vérifier un recouvrement d'intervalles, pas une égalité de deux nombres.

MÉTHODE
Valider un modèle : calculer la grandeur prévue aux deux bornes de l'intervalle d'incertitude, regarder si la mesure y tombe, puis discuter les écarts (incertitudes non fournies, hypothèses simplificatrices, nombre de mesures).

Dune	d (µm)	$f(d)$	intervalle	f_{mes}
Oméga 1	160 ± 30	100	92 à 111	100
Al-Wagan	200 ± 70	89	77 à 111	80
C. Bramador	300 ± 20	73	71 à 76	70
Sand Mountain	243 ± 40	81	75 à 89	85
Eurêka	165 ± 50	98	86 à 118	90

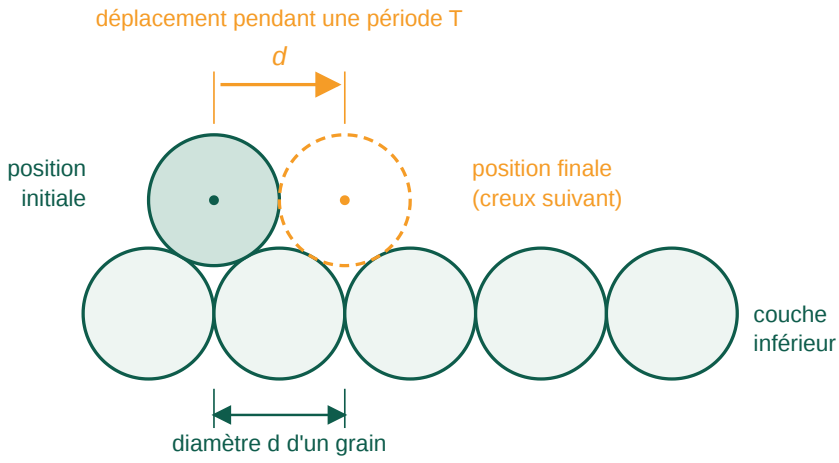
Fréquences en hertz : $f(d)$ prévue pour la taille annoncée, intervalle prévu compte tenu de l'incertitude sur d, f_{mes} mesurée (document 3).

Pour quatre dunes, la fréquence mesurée appartient à l'intervalle prévu. Pour le Cerro Bramador, elle en sort de 1 Hz seulement (70 Hz pour une borne à 71 Hz).

4. Regard critique.

- Le modèle donne le bon ordre de grandeur (autour de 100 Hz) et le bon sens de variation : les plus gros grains (Cerro Bramador) donnent le son le plus grave.
- Aucune incertitude n'accompagne les fréquences mesurées. Or les spectres du document 4 montrent des pics larges de plusieurs hertz : un écart de 1 Hz n'est pas significatif.
- Le coefficient 0,4 et $g = 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ n'ont qu'un chiffre significatif, et les grains réels ne sont ni sphériques ni identiques.
- Cinq dunes seulement, de tailles de grains voisines : il faudrait d'autres sables pour tester le modèle plus sévèrement.

$f = \dfrac{v}{d} = 0{,}4\sqrt{\dfrac{g}{d}}$; le modèle est compatible avec les mesures : accord pour quatre dunes sur cinq, écart de 1 Hz non significatif pour la cinquième.



P · Passage d'un grain de la couche supérieure d'un creux au creux suivant : il avance d'un diamètre d

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{160 \times 10^{-6}}} \approx 100$$

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{190 \times 10^{-6}}} \approx 91.76629$$

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{130 \times 10^{-6}}} \approx 110.94$$

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{320 \times 10^{-6}}} \approx 70.71068$$

$$0.4 \times \sqrt{\frac{10}{280 \times 10^{-6}}} \approx 75.59289$$