Corrigé complet — Bac S 2014 Métropole (ancien programme)

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

Ex 1	**Collisions au LHC** Relativité restreinte · Facteur de Lorentz · Énergie cinétique relativiste · Énergie de masse · Dilatation des durées · Ordres de grandeur	6 pts	1 h	9 questions	p. 2
Ex 2	**D'une odeur âcre à une odeur fruitée** Estérification · Mécanisme réactionnel · Rendement d'une synthèse · Facteurs cinétiques et catalyse · Spectroscopie IR · RMN du proton	9 pts	1 h 30	13 questions	p. 6
Ex 3	**Voyage interplanétaire** Troisième loi de Kepler · Orbite elliptique · Demi-grand axe · Analyse dimensionnelle · Mouvement circulaire uniforme	5 pts	50 min	5 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Le cor des alpes** Niveau d'intensité sonore · Atténuation géométrique · Longueur d'onde et fréquence · Seuil d'audibilité · Échelle d'une carte · Résolution de problème	5 pts	50 min	1 questions	p. 15

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.

Collisions au LHC

Bac S 2014 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 En quoi l'observation du boson de Higgs permet-elle de compléter la théorie du modèle standard ?

D'après le document 1, le modèle standard décrit les particules élémentaires et leurs interactions, mais il n'explique pas pourquoi la plupart d'entre elles ont une masse.

Higgs, Brout et Englert ont proposé une explication : les particules acquièrent leur masse en interagissant avec un champ, le champ de Higgs, auquel est associée une particule, le boson de Higgs.

Observer ce boson valide cette hypothèse : le modèle standard est complété par l'explication de l'origine de la masse des particules.

MÉTHODE
Question sur documents : citer le manque (ce que le modèle n'explique pas), puis ce que l'observation apporte. Deux ou trois phrases reformulées suffisent, sans recopier le texte.

1.2 À quelle période de l'Univers l'observation du boson de Higgs nous ramène-t-elle ?

Le document 1 indique que le boson de Higgs était présent environ 10^{-10} s après le Big Bang, quand la température approchait 10^{15} °C.

L'observation nous ramène aux tout premiers instants de l'Univers, environ 10^{-10} s après le Big Bang.

2.1 Si la vitesse v d'un proton tend vers la célérité de la lumière, vers quelle limite tend son énergie cinétique ?

Données utiles $E_c = (\gamma - 1)\, m_p c^2$; $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

Si v tend vers c, alors $\dfrac{v^2}{c^2}$ tend vers 1 et $\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}$ tend vers 0 par valeurs positives : γ tend vers $+\infty$.

Comme $m_p c^2$ est une constante positive, $(\gamma - 1)\, m_p c^2$ tend aussi vers $+\infty$.

Quand $v \to c$, l'énergie cinétique du proton tend vers l'infini.

COMPRENDRE
Il faudrait une énergie infinie pour amener un proton à la vitesse c : une particule de masse non nulle ne peut pas l'atteindre.

COMPRENDRE
La relativité restreinte (facteur de Lorentz, dilatation des durées, énergie relativiste) était au programme de Terminale S. Elle ne figure plus au programme actuel de spécialité.

2.2 Vérifier que l'énergie cinétique d'un proton a été multipliée dans les proportions indiquées dans le Guide du LHC.

Données utiles $v_0 = 0{,}999\,997\,828\, c$; $v_1 = 0{,}999\,999\,991\, c$; le Guide annonce un facteur d'environ 15

Le facteur $m_p c^2$ se simplifie dans le rapport : $\dfrac{E_{c1}}{E_{c0}} = \dfrac{\gamma_1 - 1}{\gamma_0 - 1}$.

$$\gamma_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}999\,997\,828^2}} = 479{,}8 \qquad \gamma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}999\,999\,991^2}} = 7\,454$$

$$\frac{E_{c1}}{E_{c0}} = \frac{7\,454 - 1}{479{,}8 - 1} = 15{,}6$$

$\dfrac{E_{c1}}{E_{c0}} \approx 15{,}6$: l'énergie cinétique est bien multipliée par environ 15, comme l'indique le Guide du LHC.

PIÈGE
Arrondir les vitesses : avec $v \approx c$, γ n'est plus défini. Tout se joue dans les dernières décimales, il faut saisir les neuf chiffres donnés.

COMPRENDRE
Le Guide dit « environ 15 » : l'ordre de grandeur du facteur suffit. La vitesse n'augmente que de 0,0002 % alors que l'énergie cinétique est multipliée par près de 16.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1}{\sqrt{1-0.999997828^2}} \approx 479.7946$$

$$\frac{1}{\sqrt{1-0.999999991^2}} \approx 7453.56$$

$$\frac{7453.559961-1}{479.7945688-1} \approx 15.56526$$

2.3 Donner l'expression de l'énergie totale d'un proton. Vérifier numériquement que l'énergie totale d'un proton du LHC est pratiquement égale à son énergie cinétique.

Données utiles $m_p = 1{,}672\,621 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 299\,792\,458$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $E_c = 450$ GeV à l'entrée du LHC

$E_{\text{totale}} = E_c + E_m = (\gamma - 1)\, m_p c^2 + m_p c^2$, soit $E_{\text{totale}} = \gamma\, m_p c^2$.

Énergie de masse du proton :

$$E_m = m_p c^2 = 1{,}672\,621 \times 10^{-27} \times 299\,792\,458^2 = 1{,}50 \times 10^{-10}\ \text{J}$$

soit $E_m = \dfrac{1{,}50 \times 10^{-10}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 9{,}40 \times 10^{8}\ \text{eV} = 0{,}940\ \text{GeV}$.

À l'entrée du LHC, où le proton est le plus lent : $E_{\text{totale}} = 450 + 0{,}940 \approx 451$ GeV. L'écart avec E_c est de $\dfrac{0{,}940}{450} \approx 0{,}2\ \%$, et il est encore plus faible à pleine vitesse.

$E_{\text{totale}} = \gamma\, m_p c^2$; $E_m = 0{,}940$ GeV est négligeable devant $E_c = 450$ GeV, donc $E_{\text{totale}} \approx E_c$.

COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs, comme la valeur de l'électronvolt, donnée la moins précise. Autre vérification possible : $\dfrac{E_c}{E_{\text{totale}}} = \dfrac{\gamma - 1}{\gamma}$, très proche de 1 puisque $\gamma_0 \approx 480$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$1.672621 \times 10^{-27} \times 299\,792\,458^2 \approx 1.503277 \times 10^{-10}$$

$$\frac{1.672621 \times 10^{-27} \times 299\,792\,458^2}{1.60 \times 10^{-19}} \approx 9.39548 \times 10^{8}$$

$$\frac{0.940}{450} \approx 0.002088889$$

3.1 Vérifier que l'énergie de collision entre deux protons lancés à pleine énergie en sens opposés vaut $E_{\text{collision}} = 14{,}0$ TeV.

Données utiles $\gamma_1 = 7\,453{,}56$ (2.2) ; $m_p c^2 = 1{,}503\,28 \times 10^{-10}$ J (2.3) ; $1\ \text{TeV} = 10^{12}$ eV

Énergie cinétique d'un proton à la vitesse v_1 :

$$E_{c1} = (\gamma_1 - 1)\, m_p c^2 = (7\,453{,}56 - 1) \times 1{,}503\,28 \times 10^{-10} = 1{,}12 \times 10^{-6}\ \text{J}$$

Les deux protons ont la même énergie cinétique : $E_{\text{collision}} = 2\,E_{c1} = 2{,}24 \times 10^{-6}$ J.

Conversion : $1\ \text{TeV} = 10^{12} \times 1{,}60 \times 10^{-19} = 1{,}60 \times 10^{-7}$ J, donc

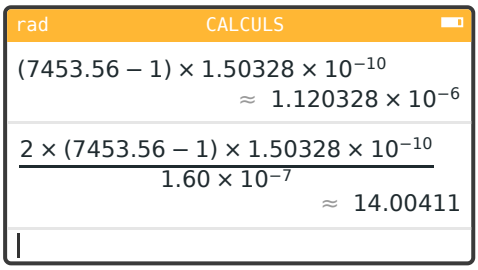
$$E_{\text{collision}} = \frac{2{,}24 \times 10^{-6}}{1{,}60 \times 10^{-7}} = 14{,}0\ \text{TeV}$$

$E_{\text{collision}} = 14{,}0$ TeV : c'est la valeur annoncée.

PIÈGE
Passer par le document 3 ($2 \times 15 \times 450$ GeV) donne 13,5 TeV : le facteur 15 est arrondi, on ne retrouve pas 14,0 TeV à trois chiffres significatifs.

MÉTHODE
Garder les valeurs non arrondies de γ_1 et de $m_p c^2$ en mémoire de la calculatrice et n'arrondir qu'à la fin.

À LA CALCULATRICE



3.2 Comparer l'énergie de l'ensemble des protons circulant simultanément dans le LHC avec l'énergie cinétique d'une rame de TGV lancée à pleine vitesse. Commenter.

Données utiles 7,00 TeV par proton ; 2 808 paquets de 110 milliards de protons ; $m_{\text{TGV}} = 444$ t ; $1\ \text{TeV} = 1{,}60 \times 10^{-7}$ J (3.1)

Nombre de protons : $N = 2\,808 \times 110 \times 10^9 = 3{,}09 \times 10^{14}$.

Énergie de l'ensemble des protons, $E_{\text{protons}} = N \times 7{,}00\ \text{TeV}$, convertie en joules :

$$E_{\text{protons}} = 3{,}09 \times 10^{14} \times 7{,}00 \times 1{,}60 \times 10^{-7} = 3{,}46 \times 10^{8}\ \text{J}$$

Un TGV roule à environ $320\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, soit un ordre de grandeur de $v \approx 10^2\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Avec $m_{\text{TGV}} = 444 \times 10^3$ kg :

$$E_{c,\text{TGV}} = \frac{1}{2}\, m_{\text{TGV}}\, v^2 = \frac{444 \times 10^3 \times (10^2)^2}{2} = 2 \times 10^9\ \text{J}$$

$\dfrac{E_{c,\text{TGV}}}{E_{\text{protons}}} \approx 6$: les deux énergies sont proches, à un ordre de grandeur près au plus.

Commentaire : la masse totale des protons est infime ($N\,m_p \approx 5 \times 10^{-13}$ kg), et pourtant leur énergie est comparable à celle d'un train de 444 tonnes. C'est la conséquence de leur vitesse très proche de c.

$E_{\text{protons}} = 3{,}46 \times 10^8$ J et $E_{c,\text{TGV}} \approx 2 \times 10^9$ J : l'énergie des protons vaut environ un sixième de celle d'un TGV à pleine vitesse.

PIÈGE
Laisser la masse en tonnes ou la vitesse en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. Oublier de multiplier par le nombre de paquets et par le nombre de protons par paquet.

COMPRENDRE
La vitesse du TGV est une estimation : le résultat se donne avec un seul chiffre significatif. Toute valeur entre 80 et $100\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ est acceptée, la conclusion ne change pas.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2808 \times 110 \times 10^9 \times 7.00 \times 1.60 \times 10^{-7} \approx 3.459456 \times 10^8$

$0.5 \times 444 \times 10^3 \times 100^2 \approx 2.22 \times 10^9$

$\frac{2\,220\,000\,000}{345\,945\,600} \approx 6.417194$

$2808 \times 110 \times 10^9 \times 1.672621 \times 10^{-27} \approx 5.166392 \times 10^{-13}$

4.1 Dans quel référentiel la durée de vie propre du méson B est-elle définie ?

La durée propre sépare deux événements qui ont lieu au même endroit dans le référentiel considéré. La création et la désintégration du méson B se produisent au même point dans le référentiel où il est immobile.

La durée de vie propre ΔT_0 est définie dans le référentiel lié au méson B (son référentiel propre).

4.2 Calculer la durée de vie ΔT du méson B mesurée dans le référentiel du laboratoire, en supposant sa vitesse pratiquement égale à c. Montrer que cette hypothèse est justifiée.

Données utiles $d = 1{,}0$ cm ; $\Delta T_0 = 1{,}5 \times 10^{-12}$ s ; $c = 299\,792\,458$ m · s^{-1} ; $\Delta T = \gamma\,\Delta T_0$

Dans le référentiel du laboratoire, le méson parcourt d à la vitesse $v \approx c$ pendant sa durée de vie :

$$\Delta T = \frac{d}{c} = \frac{1{,}0 \times 10^{-2}}{299\,792\,458} = 3{,}3 \times 10^{-11} \text{ s}$$

On en déduit le facteur de Lorentz : $\gamma = \dfrac{\Delta T}{\Delta T_0} = \dfrac{3{,}3 \times 10^{-11}}{1{,}5 \times 10^{-12}} = 22.$

Or $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$, donc $\dfrac{v}{c} = \sqrt{1 - \dfrac{1}{\gamma^2}} = \sqrt{1 - \dfrac{1}{22^2}} = 0{,}999.$

La vitesse du méson diffère de c de 0,1 % seulement : l'hypothèse $v \approx c$ est justifiée.

$\Delta T = 3{,}3 \times 10^{-11}$ s ; $\gamma = 22$ donne $v = 0{,}999\,c$, ce qui valide l'hypothèse.

PIÈGE

Laisser d en centimètres. Se contenter de constater $\Delta T > \Delta T_0$ ne suffit pas : cette inégalité est vraie à toute vitesse, il faut remonter à v.

COMPRENDRE

Sans dilatation des durées, le méson ne parcourrait que $c\,\Delta T_0 \approx 0{,}45$ mm. Le centimètre mesuré par le VELO est une preuve directe de l'effet relativiste.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1.0 \times 10^{-2}}{299\,792\,458} \approx 3.335641 \times 10^{-11}$

$\frac{3.335640952 \times 10^{-11}}{1.5 \times 10^{-12}} \approx 22.23761$

$\sqrt{1 - \frac{1}{22^2}} \approx 0.9989664$

D'une odeur âcre à une odeur fruitée

Bac S 2014 Métropole (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Quel est le nom en nomenclature officielle de l'acide formique ?

L'acide formique $HCOOH$ est un acide carboxylique dont la chaîne ne compte qu'un seul atome de carbone (préfixe « méthan- »).

L'acide formique est l'**acide méthanoïque**.

MÉTHODE
Pour retrouver un nom officiel : compter les carbones de la chaîne (1 : méthan-, 2 : éthan-, 3 : propan-, 4 : butan-), puis ajouter la terminaison de la famille (acide …oïque, …ol, …oate d'alkyle).

1.2 Recopier l'équation de la réaction de synthèse en écriture topologique. Encadrer les groupes caractéristiques et nommer les fonctions correspondantes.

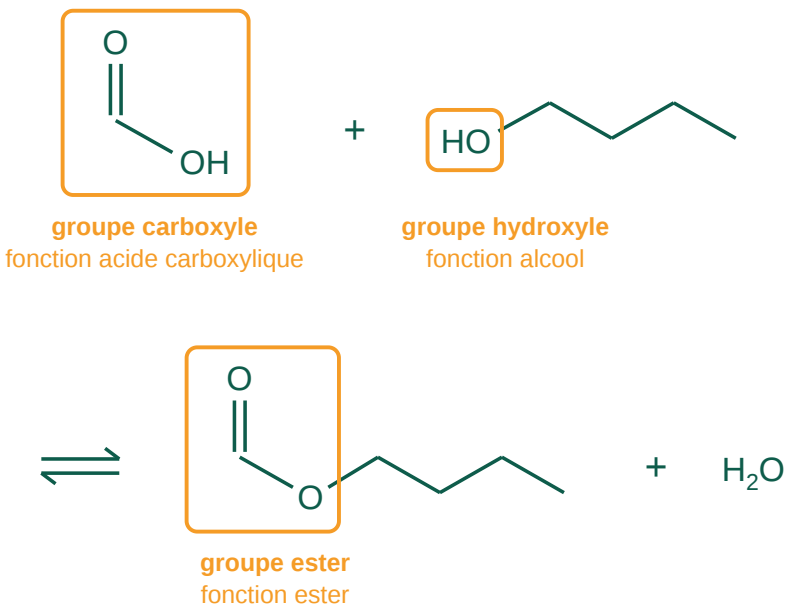
L'équation en écriture topologique est tracée ci-dessous. Trois groupes caractéristiques sont encadrés :

- groupe carboxyle $-COOH$ de l'acide méthanoïque : fonction acide carboxylique ;
- groupe hydroxyle $-OH$ du butan-1-ol : fonction alcool ;
- groupe ester $-COO-$ du méthanoate de butyle : fonction ester.

acide carboxylique + alcool $\rightleftharpoons$ ester + eau

PIÈGE
Oublier un carbone du butan-1-ol : la chaîne compte quatre carbones, donc trois segments en zigzag, plus le trait qui porte OH. Les H portés par un oxygène, eux, s'écrivent toujours.

COMPRENDRE
En écriture topologique, chaque sommet ou extrémité de ligne brisée est un carbone ; les H liés aux carbones ne sont pas écrits. Le carbone de l'acide méthanoïque se réduit donc à un sommet, son H est sous-entendu.



1.2 · Équation en écriture topologique, groupes caractéristiques encadrés

1.3 Décrire la modélisation de l'étape (a) du mécanisme réactionnel du document 1.

Dans l'étape (a), la flèche courbe part d'un doublet non liant de l'atome d'oxygène du groupe $C{=}O$ (site donneur de doublet d'électrons) et pointe vers l'ion H^+ (site accepteur, déficitaire en électrons).

Elle modélise le déplacement de ce doublet, qui devient un doublet liant : une liaison covalente $O{-}H$ se forme. L'atome d'oxygène porte alors la charge positive.

Étape (a) : un doublet non liant de O attaque H^+ ; formation d'une liaison $O{-}H$.

COMPRENDRE
Une flèche courbe représente le mouvement d'un doublet d'électrons, jamais celui d'un atome. Elle va toujours du site donneur (riche en électrons) vers le site accepteur (pauvre en électrons).

1.4 Recopier les étapes (c) et (e), les compléter avec les flèches courbes nécessaires et indiquer s'il s'agit d'une formation ou d'une rupture de liaison.

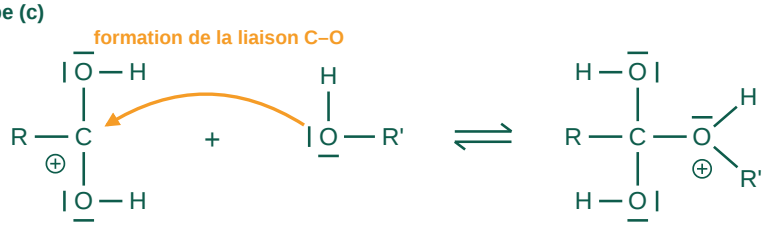
Étape (c) : la flèche part d'un doublet non liant de l'oxygène de l'alcool $R'{-}OH$ (site donneur) et pointe vers le carbone chargé positivement (site accepteur). Une liaison $C{-}O$ se **forme**.

Étape (e) : la flèche part du doublet liant de la liaison entre le carbone et l'oxygène chargé positivement, et pointe vers cet oxygène, qui emporte le doublet. La liaison $C{-}O$ se **rompt** et une molécule d'eau est libérée.

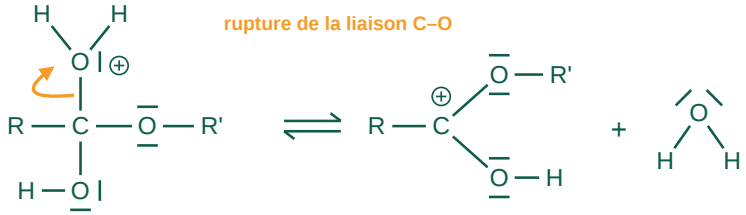
Étape (c) : formation d'une liaison $C{-}O$. Étape (e) : rupture d'une liaison $C{-}O$.

PIÈGE
Dans l'étape (e), faire partir la flèche de l'atome d'oxygène ou de la charge. Pour une rupture, la flèche part du milieu de la liaison et va vers l'atome qui garde le doublet.

Étape (c)



Étape (e)



1.4 · Étapes (c) et (e) complétées : flèches courbes en orange

1.5 Comment expliquer l'existence des charges positives portées par les atomes d'oxygène et de carbone dans l'étape (e) ?

Données utiles $Z(\mathrm{C}) = 6$; $Z(\mathrm{O}) = 8$

Dans un doublet liant, chaque atome possède en propre un électron ; dans un doublet non liant, il possède les deux.

Oxygène ($Z = 8$, structure $(K)^2(L)^6$) : 6 électrons externes quand il est neutre. Dans le réactif de l'étape (e), l'oxygène lié aux deux H forme 3 liaisons et porte 1 doublet non liant : il possède en propre $3 + 2 = 5$ électrons, soit un de moins.

Carbone ($Z = 6$, structure $(K)^2(L)^4$) : 4 électrons externes quand il est neutre. Dans le produit de l'étape (e), il ne forme plus que 3 liaisons : il possède en propre 3 électrons, soit un de moins.

Chacun de ces atomes a un électron externe de moins que l'atome neutre : il porte une charge $+$.

MÉTHODE
Charge d'un atome dans une formule de Lewis : (électrons externes de l'atome neutre) $-$ (nombre de liaisons $+ 2\times$ nombre de doublets non liants). Ici O : $6 - 5 = +1$; C : $4 - 3 = +1$.

2.1 Le mélange de réactifs du protocole est-il stœchiométrique ? Justifier.

Données utiles acide formique : $V_1 = 7{,}5$ mL, $d_1 = 1{,}22$, $M_1 = 46{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; butan-1-ol : $V_2 = 18{,}0$ mL, $d_2 = 0{,}81$, $M_2 = 74{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $\rho_{\mathrm{eau}} = 1{,}0\ \mathrm{g \cdot mL^{-1}}$

Pour un liquide de densité d : $\rho = d \times \rho_{\mathrm{eau}}$, donc $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{d \times \rho_{\mathrm{eau}} \times V}{M}$.

Acide formique : $n_1 = \dfrac{1{,}22 \times 1{,}0 \times 7{,}5}{46{,}0} = 0{,}20\ \mathrm{mol}$

Butan-1-ol : $n_2 = \dfrac{0{,}81 \times 1{,}0 \times 18{,}0}{74{,}0} = 0{,}20\ \mathrm{mol}$

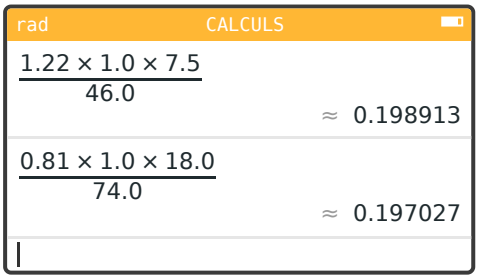
D'après l'équation, une mole d'acide réagit avec une mole d'alcool : le mélange est stœchiométrique si $n_1 = n_2$.

$n_1 = n_2 = 0{,}20\ \mathrm{mol}$: le mélange est stœchiométrique.

PIÈGE
Comparer les volumes ou les masses : ce sont les quantités de matière, rapportées aux nombres stœchiométriques, qu'il faut comparer. La densité n'a pas d'unité ; c'est ρ qui s'exprime en $\mathrm{g \cdot mL^{-1}}$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V_1, d_2 et ρ_{eau}, les données les moins précises. À cette précision, $0{,}199$ et $0{,}197$ mol sont égales : on conclut bien à un mélange stœchiométrique.

À LA CALCULATRICE



2.2 Identifier, dans le document 2, la courbe correspondant au protocole décrit. Justifier.

Le protocole réunit trois conditions : un bain-marie à environ 50 °C, l'ajout d'acide sulfurique concentré, et des réactifs en proportions stœchiométriques (question 2.1).

D'après les légendes du document 2, seule la courbe (c) correspond à ces trois conditions.

Le protocole correspond à la **courbe (c)**.

2.3 Déterminer le rendement de la synthèse dans le cas de ce protocole.

Données utiles $n_1 = n_2 = 0{,}20$ mol (2.1) ; courbe (c) du document 2.a

Le mélange est stœchiométrique et les nombres stœchiométriques valent tous 1 : si la transformation était totale, il se formerait $n_{\max} = 0{,}20\ \text{mol}$ d'ester.

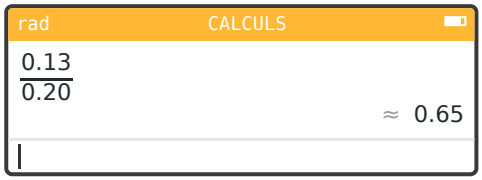
Sur la courbe (c), la quantité d'ester n'évolue plus au-delà d'une dizaine de minutes : $n_f \approx 0{,}13\ \text{mol}$.

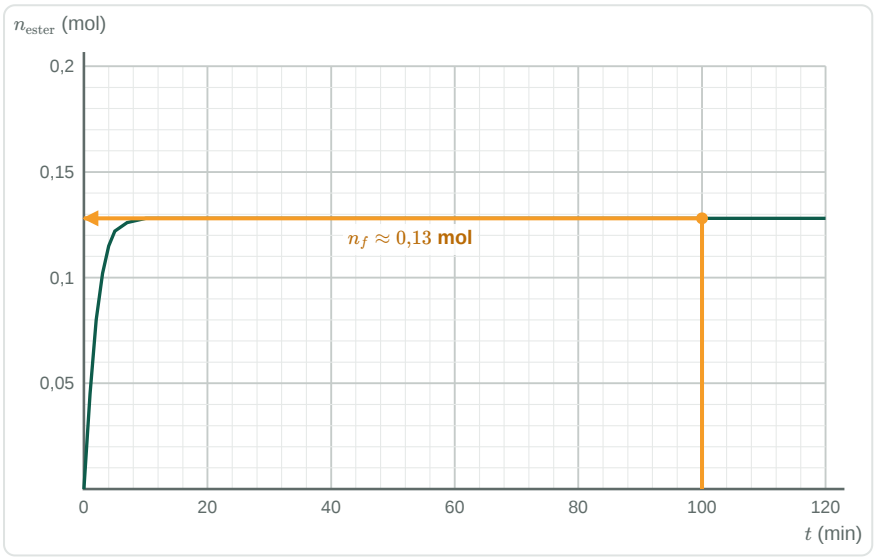
$$\eta = \frac{n_f}{n_{\max}} = \frac{0{,}13}{0{,}20} = 0{,}65$$

$\eta \approx 65\ \%$

COMPRENDRE
Le rendement reste inférieur à 100 % alors qu'aucun réactif n'est épuisé : la transformation est limitée, elle s'arrête à un état d'équilibre où les quatre espèces coexistent.

À LA CALCULATRICE





2.3 · Courbe (c) du document 2.a : lecture de la quantité finale d'ester

2.4 Effectuer une analyse détaillée de l'influence des conditions expérimentales sur la synthèse du méthanoate de butyle.

On compare les courbes deux à deux, en ne changeant qu'un seul paramètre.

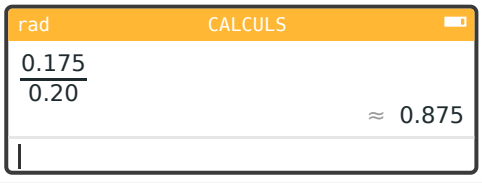
- Température, courbes (b) et (c) : avec catalyseur dans les deux cas, le palier de $0{,}13$ mol est atteint en 10 min environ à 50 °C contre 40 min environ à 20 °C. Chauffer accélère la transformation sans changer la quantité finale.
- Catalyseur, courbes (a) et (c) : à 50 °C, le même palier est atteint en 10 min environ avec l'acide sulfurique, en 120 min environ sans lui. Le catalyseur accélère la transformation sans changer la quantité finale.
- Proportions, courbes (d) et (e) : à 20 °C sans catalyseur, l'excès d'acide formique conduit à un palier de $0{,}175$ mol dès 40 min ; en mélange stœchiométrique, on n'a que $0{,}09$ mol au bout de 120 min, et le palier ne peut pas dépasser $0{,}13$ mol (document 2.a). L'excès d'un réactif augmente la quantité finale d'ester, donc le rendement ($0{,}175/0{,}20 \approx 88\ \%$), et accélère aussi la transformation.

Température et catalyseur : la transformation est plus rapide, avec le même état final. Excès d'un réactif : l'état final est modifié, le rendement augmente.

COMPRENDRE
Dans l'expérience (e), le butan-1-ol reste à $0{,}20$ mol (énoncé du document 2) : il devient le réactif limitant, et le rendement se calcule toujours par rapport à $0{,}20$ mol.

MÉTHODE
Pour étudier l'influence d'un paramètre, ne comparer que deux expériences qui diffèrent par ce seul paramètre. Les courbes (a) et (b), qui diffèrent à la fois par la température et le catalyseur, ne permettent aucune conclusion.

À LA CALCULATRICE



2.5 Présenter les conditions optimales de la synthèse du méthanoate de butyle et les justifier.

Une synthèse optimale est à la fois rapide et de bon rendement. D'après la question 2.4, il faut réunir :

- un chauffage à 50 °C environ : la température est un facteur cinétique, l'état final est atteint plus vite ;
- l'ajout d'acide sulfurique : ce catalyseur réduit encore la durée de la transformation ;
- un excès d'acide formique : c'est la seule condition qui augmente le rendement.

Conditions optimales : chauffer vers 50 °C, avec acide sulfurique, acide formique en excès.

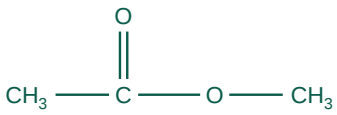
COMPRENDRE
Ni la température ni le catalyseur ne modifient ici l'état final : ils font gagner du temps. Seules les proportions des réactifs font gagner de la matière.

3.1 Indiquer la formule semi-développée de l'éthanoate de méthyle.

« Éthanoate » : la partie qui porte le groupe $C{=}O$ compte 2 carbones, soit $CH_3{-}CO^-$. « Méthyle » : le groupe lié à l'oxygène compte 1 carbone, soit $-CH_3$.

Éthanoate de méthyle : $CH_3{-}COO{-}CH_3$, la liaison $C{=}O$ étant développée sur la figure.

PIÈGE
Inverser les deux parties du nom. Le premier mot (éthanoate) désigne la chaîne qui contient le carbone du groupe ester ; le second (méthyle) désigne la chaîne liée à l'atome d'oxygène.



3.1 · Formule semi-développée de l'éthanoate de méthyle

3.2 La spectroscopie IR permet-elle de distinguer l'éthanoate de méthyle du méthanoate d'éthyle ? Justifier.

Un spectre IR renseigne sur les liaisons présentes, donc sur les groupes caractéristiques. Les deux molécules sont des esters : elles possèdent le même groupe caractéristique et les mêmes types de liaisons ($C{=}O$, $C{-}O$, $C{-}H$). Leurs spectres présentent donc les mêmes bandes caractéristiques.

Non : la spectroscopie IR ne permet pas de distinguer ces deux esters.

COMPRENDRE
Ces deux esters sont isomères : même formule brute $C_3H_6O_2$, même fonction. Il faut une technique sensible à l'enchaînement des atomes, pas seulement à la nature des liaisons.

3.3 Associer chacun des spectres de RMN du document 3 à l'ester correspondant. Justifier.

Méthanoate d'éthyle $HCOO-CH_2-CH_3$: trois groupes de protons équivalents, donc trois signaux.

- H lié au carbone du groupe ester : aucun H voisin, singulet ;
- CH_2 : 3 voisins (ceux de CH_3), quadruplet ($3+1$ pics) ;
- CH_3 : 2 voisins (ceux de CH_2), triplet ($2+1$ pics).

C'est le spectre 1 (singulet, quadruplet, triplet).

Éthanoate de méthyle $CH_3-COO-CH_3$: deux groupes de protons équivalents, sans H voisin (aucun H sur l'atome voisin) : deux singulets. C'est le spectre 2.

Spectre 1 : méthanoate d'éthyle. Spectre 2 : éthanoate de méthyle.

COMPRENDRE
La RMN du proton n'est plus au programme de la spécialité de Terminale actuelle : cette question relève de l'ancien programme. La spectroscopie IR (question 3.2), elle, y figure toujours.

MÉTHODE
Lire un spectre de RMN : nombre de signaux = nombre de groupes de protons équivalents ; un signal de $n+1$ pics = n protons voisins. Les courbes d'intégration confirment : sauts égaux sur le spectre 2 (3 H et 3 H).

Voyage interplanétaire

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

1 Indiquer les différentes phases du voyage de la mission MSL.

D'après le document 1, le voyage comporte trois phases :

- le départ : le vaisseau quitte la Terre et se libère de son attraction ;
- le transfert : soumis à l'attraction du Soleil, il parcourt l'orbite de Hohmann du périhélie P jusqu'à l'aphélie A ;
- l'arrivée : près de Mars, l'attraction de cette planète devient prépondérante et Curiosity se pose.

Trois phases : échappement à la Terre, transfert sur l'orbite de Hohmann, capture par Mars.

MÉTHODE
Question d'extraction : chaque phase est associée à l'astre dont l'attraction domine (Terre, puis Soleil, puis Mars). Citer le document suffit, sans calcul.

2 Sur l'annexe, repasser en couleur le chemin suivi par MSL et indiquer R_1 et R_2. Montrer que le demi-grand axe de l'orbite de Hohmann vaut $a = 1{,}89 \times 10^8$ km.

Données utiles $R_1 = 1{,}50 \times 10^8$ km ; $R_2 = 2{,}28 \times 10^8$ km

MSL part de P, sur l'orbite terrestre, et rejoint A, sur l'orbite de Mars : il décrit la moitié de l'ellipse (voir l'annexe).

Les points A, S et P sont alignés, avec $SP = R_1$ et $SA = R_2$. Le grand axe de l'ellipse vérifie donc :

$$AP = 2a = R_1 + R_2 \quad \text{soit} \quad a = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

$$a = \frac{1{,}50 \times 10^8 + 2{,}28 \times 10^8}{2} = 1{,}89 \times 10^8 \text{ km}$$

$a = \dfrac{R_1 + R_2}{2} = 1{,}89 \times 10^8$ km : c'est la valeur attendue.

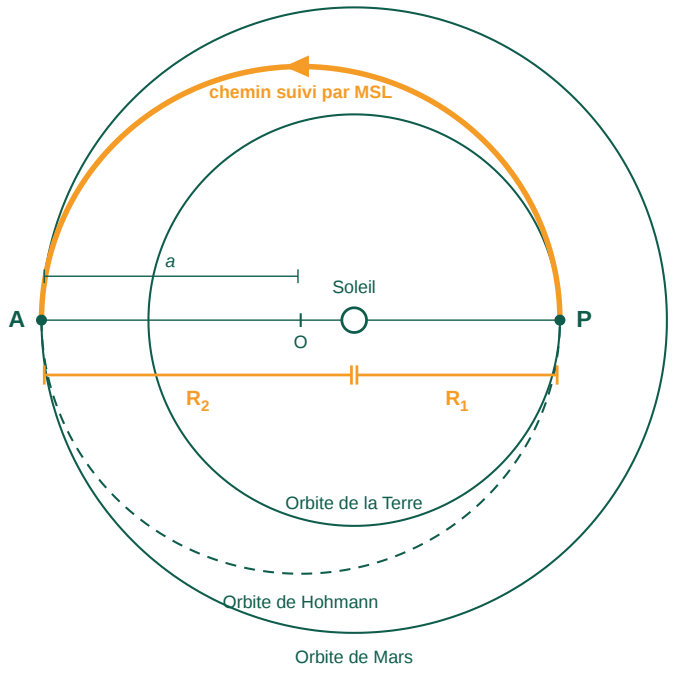
PIÈGE
Le Soleil n'est pas au centre O de l'ellipse : il en occupe un foyer. Les distances R_1 et R_2 se mesurent depuis S, pas depuis O.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : les résultats de l'exercice en gardent trois.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.50 \times 10^8 + 2.28 \times 10^8}{2} \approx 1.89 \times 10^8$$



2 · Annexe complétée : demi-ellipse parcourue de P vers A, distances R_1 et R_2

3.1 Exprimer la durée Δt du voyage de Curiosity en fonction de a, G et M_S, puis vérifier l'homogénéité de la relation par une analyse dimensionnelle.

Données utiles $\dfrac{T^2}{a^3} = \dfrac{4\pi^2}{GM_S}$; G en $\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$

Le vaisseau ne parcourt que la moitié de l'ellipse, de P à A. Les deux moitiés étant symétriques par rapport au grand axe, la durée du trajet est une demi-période : $\Delta t = \dfrac{T}{2}$.

La troisième loi de Kepler donne $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{a^3}{GM_S}}$, d'où :

$$\Delta t = \pi\sqrt{\frac{a^3}{GM_S}}$$

Homogénéité : a^3 s'exprime en $\mathrm{m^3}$ et le produit GM_S en $\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2} \times kg = m^3 \cdot s^{-2}}$.

Le quotient $\dfrac{a^3}{GM_S}$ est donc en $\dfrac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{m^3 \cdot s^{-2}}} = \mathrm{s^2}$; sa racine carrée est en secondes et π est sans unité.

$\Delta t = \pi\sqrt{\dfrac{a^3}{GM_S}}$, expression homogène à une durée.

PIÈGE
Garder $\Delta t = T$: le vaisseau s'arrête en A, il ne boucle pas l'ellipse. Oublier ce facteur 2 double la durée du voyage.

COMPRENDRE
Avec les dimensions : $[G] = L^3M^{-1}T^{-2}$, donc $\left[\dfrac{a^3}{GM_S}\right] = \dfrac{L^3}{L^3T^{-2}} = T^2$. Raisonner sur les unités SI revient au même.

3.2 Calculer la durée Δt. Commenter le résultat obtenu par rapport à la durée de la mission.

Données utiles $a = 1{,}89 \times 10^8$ km (Q2) ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ $\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$; $M_S = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg ; départ le 26 novembre 2011, arrivée le 6 août 2012

Avec $a = 1{,}89 \times 10^{11}$ m :

$$\Delta t = \pi\sqrt{\frac{(1{,}89 \times 10^{11})^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}99 \times 10^{30}}} = 2{,}24 \times 10^7 \text{ s}$$

En jours : $\Delta t = \dfrac{2{,}24 \times 10^7}{24 \times 3600} = 259$ j.

Durée réelle, du 26 novembre 2011 au 6 août 2012 (février 2012 compte 29 jours) :

$4 + 31 + 31 + 29 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 6 = 254$ j.

Écart relatif : $\dfrac{259 - 254}{254} \approx 2\,\%$. Les deux durées sont très proches : le modèle de l'orbite de Hohmann, avec des orbites planétaires circulaires, décrit correctement le voyage.

$\Delta t = 2{,}24 \times 10^7$ s, soit 259 jours, en accord à 2 % près avec les 254 jours de la mission.

PIÈGE
Laisser a en kilomètres : G est en unités SI, il faut $a = 1{,}89 \times 10^{11}$ m. L'erreur divise la durée par $1000^{3/2}$, soit environ 30 000.

COMPRENDRE
Le petit écart vient du modèle : orbites réelles légèrement elliptiques, phases de départ et d'arrivée où la Terre puis Mars attirent le vaisseau, corrections de trajectoire en cours de route.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\pi \times \sqrt{\dfrac{(1.89 \times 10^{11})^3}{6.67 \times 10^{-11} \times 1.99 \times 10^{30}}} \approx 2.240542 \times 10^7$

$\dfrac{22\,405\,421.78}{24 \times 3600} \approx 259.322$

$4 + 31 + 31 + 29 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31 + 6 = 254$

$\dfrac{259 - 254}{254} \approx 0.01968504$

4 Déterminer la valeur de l'angle α qui repère la position de Mars au départ, condition nécessaire à la réussite de la mission.

Données utiles période de Mars $T_M = 1{,}88$ an ; $\Delta t = 259$ j (Q3.2) ; $\beta = (\overrightarrow{SM_1}, \overrightarrow{SM_2})$

Pour que le rendez-vous ait lieu, Mars doit aller de M_1 à M_2 pendant que le vaisseau va de P à A, c'est-à-dire pendant la durée Δt.

Le mouvement de Mars est circulaire uniforme : l'angle balayé est proportionnel à la durée, avec 360° pour une période T_M.

$T_M = 1{,}88 \times 365{,}25 = 687$ j, donc :

$$\beta = 360 \times \frac{\Delta t}{T_M} = 360 \times \frac{259}{687} = 136^\circ$$

Le point de rendez-vous M_2 est l'aphélie A, diamétralement opposé au point de départ T_1 (périhélie P) par rapport au Soleil. D'après le document 2 : $\alpha + \beta = 180^\circ$.

$\alpha = 180 - \beta = 180 - 136 = 44^\circ$

$\alpha = 44^\circ$: au lancement, Mars doit être en avance de 44° sur la Terre.

PIÈGE
Exprimer Δt et T_M dans des unités différentes (secondes et années). Le rapport $\dfrac{\Delta t}{T_M}$ n'a de sens qu'avec deux durées dans la même unité.

COMPRENDRE
Avec la durée réelle de 254 jours, on trouve $\beta = 133^\circ$ et $\alpha = 47^\circ$. Cette configuration ne revient qu'environ tous les 26 mois : c'est la fenêtre de tir.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche avant de calculer. Ici, 1) Mars parcourt β pendant Δt ; 2) proportionnalité angle-durée ; 3) relation géométrique entre α et β lue sur la figure.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.88 \times 365.25 \approx 686.67$

$\dfrac{360 \times 259}{687} \approx 135.7205$

$180 - 136 = 44$

Spécialité : Le cor des alpes

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

P Un berger placé au point A joue la note la plus grave de son cor des Alpes. Pourra-t-on l'entendre à Haute Nendaz ? Porter un regard critique sur le résultat et discuter la validité des hypothèses.

Données utiles longueur du cor $\ell = 3{,}4$ m ; $L_1 = 100$ dB à $d_1 = 1$ m ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2} ; $I = \dfrac{P}{4\pi d^2}$; célérité du son à 20 °C : $v = 343$ m · s^{-1} ; carte et seuil d'audibilité (document 4)

Démarche. Un son est entendu si son niveau d'intensité sonore dépasse le seuil d'audibilité à sa fréquence (document 4). Il faut donc la distance du cor au village, le niveau sonore à cette distance et la fréquence de la note.

1. Distance entre A et Haute Nendaz.

Sur la carte, le segment d'échelle mesure 17 mm pour 2 km, et les deux croix sont séparées de 75 mm :

$$d_2 = \frac{75 \times 2}{17} = 8{,}8 \text{ km} = 8{,}8 \times 10^3 \text{ m}$$

2. Niveau d'intensité sonore à Haute Nendaz.

À 1 m du cor : $I_1 = I_0 \times 10^{L_1/10} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{10} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ W · m^{-2}.

Sans amortissement, la puissance P de la source isotrope se conserve : $P = 4\pi d_1^2 I_1 = 4\pi d_2^2 I_2$, d'où

$$I_2 = I_1 \times \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = 1{,}0 \times 10^{-2} \times \left(\frac{1}{8{,}8 \times 10^3}\right)^2 = 1{,}3 \times 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$L_2 = 10 \log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{1{,}3 \times 10^{-10}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right) = 21 \text{ dB}$$

3. Fréquence de la note la plus grave.

D'après le document 2, $\lambda = 2\ell$. Comme $\lambda = \dfrac{v}{f}$, en prenant la célérité à 20 °C (document 1) :

$$f = \frac{v}{2\ell} = \frac{343}{2 \times 3{,}4} = 50 \text{ Hz}$$

4. Comparaison au seuil d'audibilité.

Sur le document 4, à 50 Hz, le seuil d'audibilité vaut environ 44 dB. Or $L_2 = 21 \text{ dB} < 44 \text{ dB}$: la note n'est pas entendue.

5. Regard critique et validité des hypothèses.

- Température : entre 10 °C et 40 °C, f reste comprise entre 50 Hz et 52 Hz ; le seuil change à peine, la conclusion aussi.
- Amortissement négligé : en réalité l'air dissipe une partie de l'énergie et le relief fait obstacle ; le niveau réel est encore inférieur à 21 dB.
- Source isotrope : le pavillon du cor émet davantage vers l'avant. Dirigé vers le village, il donnerait un niveau un peu plus élevé, mais l'écart à combler est de 23 dB, soit une intensité environ 200 fois plus grande.
- Bruit ambiant : même au-dessus du seuil, un son de 21 dB serait couvert par les bruits du village.
- Le document 2 évoque pourtant une portée d'une dizaine de kilomètres. Le son du cor contient aussi des harmoniques (100 Hz,

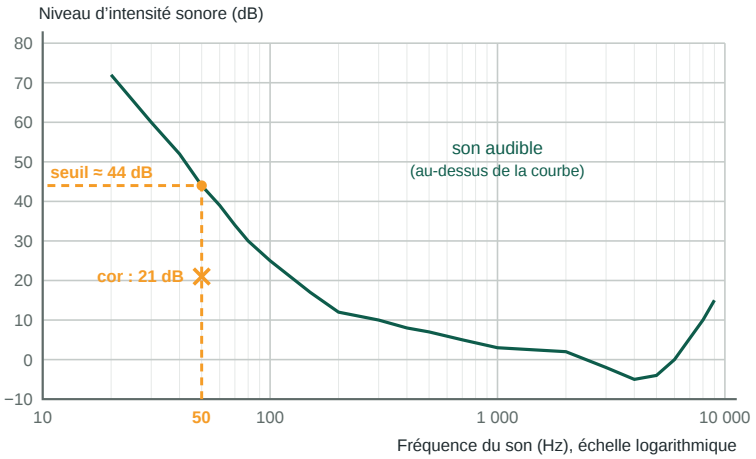
PIÈGE
Diviser le niveau par d^2. C'est l'intensité I qui varie en $1/d^2$, pas le niveau L en décibels : multiplier la distance par 10 retire 20 dB. Lire aussi l'axe des fréquences en échelle logarithmique.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme ℓ et les longueurs mesurées sur la carte. Les harmoniques cités dans la critique ne figurent plus au programme actuel de spécialité ; le niveau sonore et l'atténuation géométrique y sont toujours.

MÉTHODE
Résolution de problème : écrire d'abord le critère de réponse (ici niveau reçu comparé au seuil), en déduire les grandeurs à déterminer, puis indiquer pour chacune le document utilisé. Terminer par une phrase qui répond à la question posée.

150 Hz…) et l'instrument produit des notes plus aiguës : dès 150 Hz, le seuil (environ 17 dB) passe sous 21 dB. Ces sons peuvent être perçus dans un environnement calme, pas le fondamental à 50 Hz.

$L_2 = 21$ dB à $8{,}8$ km, inférieur au seuil d'audibilité à $f = 50$ Hz (environ 44 dB) : la note la plus grave du cor n'est pas entendue à Haute Nendaz.



P · Document 4 : seuil d'audibilité lu à 50 Hz, et point représentant le son du cor à Haute Nendaz

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{75 \times 2}{17} \approx 8.823529$$

$$1.0 \times 10^{-2} \times \left(\frac{1}{8.8 \times 10^{3}}\right)^{2} \approx 1.291322 \times 10^{-10}$$

$$10 \times \log\left(\frac{1.3 \times 10^{-10}}{1.0 \times 10^{-12}}\right) \approx 21.13943$$

$$\frac{343}{2 \times 3.4} \approx 50.44118$$