Corrigé complet — Bac S 2013 Antilles-Guyane (ancien programme)

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

Ex 1	**La mesure du temps** Période d'un pendule · Exploitation d'un graphique · Oscillations amorties · Énergie mécanique et frottements · Horloges à quartz et atomique · Synthèse de documents	5 pts	50 min	4 questions	p. 2
Ex 2	**Des molécules témoins du mûrissement des pommes** Ester et isomérie · Stéréoisomérie · Spectroscopie RMN · Distillation et extraction · Rendement d'une synthèse · Mécanisme réactionnel et catalyse	10 pts	1 h 40	19 questions	p. 5
Ex 3	**Détermination du rapport e/m pour l'électron** Champ électrostatique uniforme · Force électrostatique · Deuxième loi de Newton · Mouvement d'une particule chargée · Incertitude de mesure	5 pts	50 min	7 questions	p. 11
Ex 4	**Spécialité : L'effet larsen** Effet Larsen · Période et fréquence · Incertitude de mesure · Spectre en fréquence · Intensité et niveau sonores · Atténuation géométrique	5 pts	50 min	6 questions	p. 14

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

La mesure du temps

Bac S 2013 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 À l'aide du document 3.b, choisir, en justifiant, la formule qui donne la période T d'un pendule en fonction de la longueur ℓ de la tige (C est une constante).

Données utiles document 3.b : la droite passe par l'origine et par le point $\ell = 1{,}0$ m ; $T^2 = 4{,}0$ s^2

Sur le document 3.b, le graphe de T^2 en fonction de ℓ est une droite qui passe par l'origine : T^2 est proportionnel à ℓ.

On peut donc écrire $T^2 = k\,\ell$, avec k constante positive. Comme $T > 0$:

$$T = \sqrt{k\,\ell} = \sqrt{k}\,\sqrt{\ell}$$

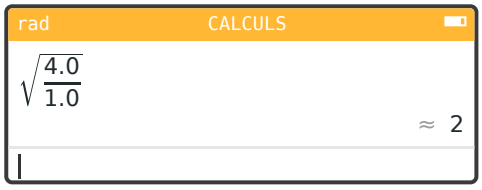
En posant $C = \sqrt{k}$, on obtient :

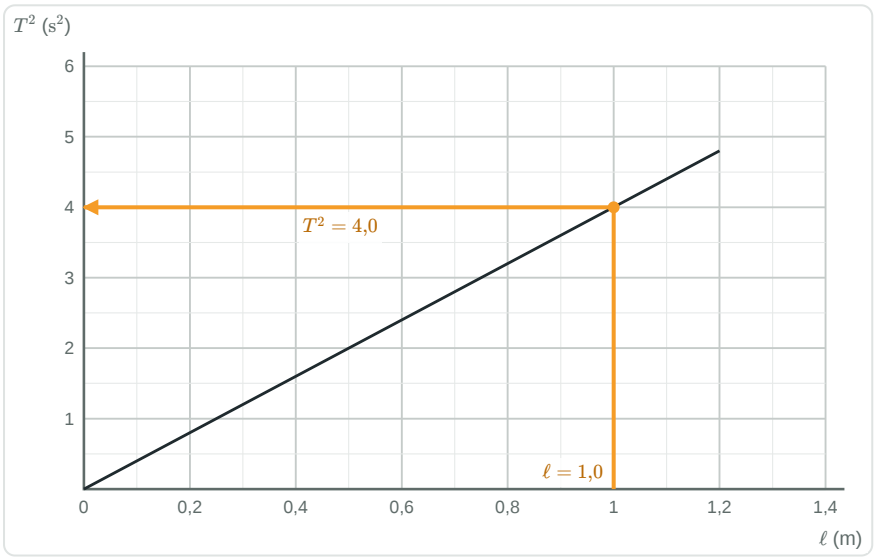
$T = C\sqrt{\ell}$: c'est la formule **(c)**.

PIÈGE
Choisir (a) parce que le graphe est une droite. L'ordonnée est T^2, pas T : c'est le carré de la période qui est proportionnel à ℓ.

COMPRENDRE
Le point lu donne $k = 4{,}0$ s$^2 \cdot$ m^{-1}, donc $C = 2{,}0$ s $\cdot$ m$^{-1/2}$. C'est cohérent avec la formule du pendule simple $T = 2\pi\sqrt{\ell/g}$, où $C = 2\pi/\sqrt{g}$.

À LA CALCULATRICE





1 · Document 3.b : droite passant par l'origine et lecture du point $(1{,}0\ ;\ 4{,}0)$

2 Si la température augmente, comment varie la période d'oscillation du pendule ?

D'après le document 3.d, quand la température augmente, le balancier se dilate : la longueur ℓ de la tige augmente.

Or $T = C\sqrt{\ell}$ (question 1) et la fonction racine carrée est croissante.

Si la température augmente, la période T du pendule **augmente**.

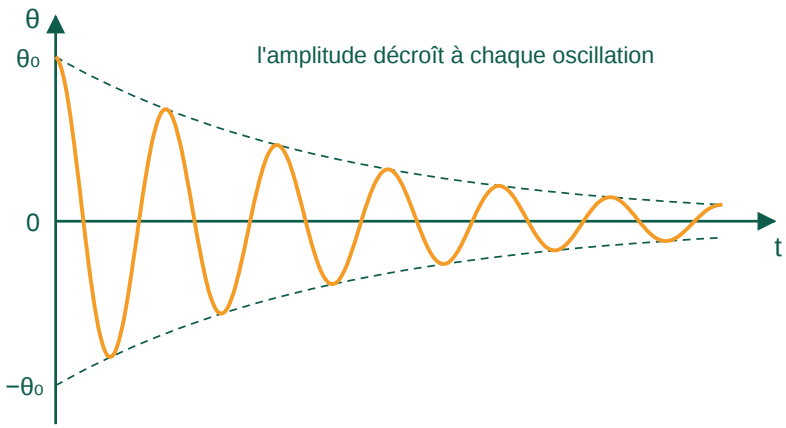
COMPRENDRE
Une période plus longue signifie moins d'oscillations par jour : en été, l'horloge à balancier retarde. Les horlogers ont donc cherché des tiges qui se dilatent très peu.

3 Représenter l'allure de l'angle θ en fonction du temps lorsque les frottements ne sont pas négligeables. Quel dispositif compense l'amortissement des oscillations dans une horloge mécanique ?

Les frottements font perdre de l'énergie mécanique au balancier à chaque oscillation. L'amplitude de θ diminue donc peu à peu : les oscillations sont **amorties** (voir le graphe), jusqu'à l'arrêt à la position d'équilibre $\theta = 0$.

D'après le document 3.c, l'amortissement est compensé par une masse (le « poids ») associée à un système d'engrenages. En descendant, le poids cède de l'énergie ; l'échappement à ancre bloque sa chute et transmet au balancier, à chaque oscillation, juste l'énergie perdue.

Oscillations d'amplitude décroissante ; compensation par le **poids** et les engrenages, avec l'**échappement à ancre**.



3 · Allure de $\theta(t)$ avec frottements : oscillations amorties (en orange), pendule lâché de l'angle θ_0

PIÈGE
Dessiner des oscillations qui se resserrent. Seule l'amplitude diminue : les passages par $\theta = 0$ restent régulièrement espacés, la durée d'une oscillation ne change pratiquement pas.

COMPRENDRE
L'énergie perdue est dissipée sous forme de chaleur dans le milieu extérieur. L'énergie apportée au balancier vient de l'énergie potentielle de pesanteur du poids, qu'il faut donc remonter régulièrement.

4 Rédiger une synthèse de 20 lignes maximum expliquant comment, face aux limites des techniques, les hommes se sont adaptés pour concevoir des instruments de mesure du temps de plus en plus précis.

Données utiles documents 1 à 5 : lunaison de 29,5 jours ; quartz à 32 768 Hz, dérive de 1 s en 6 ans ; césium 133 : 9 192 631 770 périodes par seconde, exactitude relative d'environ 10^{-14}

Mesurer le temps, c'est compter un phénomène qui se répète. Les hommes ont choisi des phénomènes périodiques de plus en plus réguliers et de moins en moins sensibles aux conditions extérieures.

Les astres. Les premiers repères sont le Soleil et la Lune : jour, saisons, lunaison de 29,5 jours (document 1). Vers 600 avant J.-C., le cadran solaire divise la journée en douze heures (document 2). Mais il donne une heure locale, exige du soleil, et ses heures changent de durée avec les saisons.

Les oscillateurs mécaniques. Du XIIIe au XXe siècle, on compte les oscillations d'un pendule, dont la période dépend de sa longueur et de la pesanteur (document 3). Contre l'amortissement dû aux frottements, Huygens ajoute un poids et un échappement à ancre. Restent la sensibilité à la température, à g et au tangage, et l'encombrement : les chronomètres de marine puis les montres y répondent par la miniaturisation et le ressort spiral.

Le quartz. En 1930, l'oscillateur devient électrique : un cristal de quartz vibre à 32 768 Hz et un diviseur de fréquence fournit une impulsion par seconde (document 4). La dérive tombe à une seconde en six ans.

L'atome. Depuis les années 1950, la référence est la fréquence de la radiation associée à une transition entre deux niveaux d'énergie du césium 133 (document 5), qui définit la seconde depuis 1967. L'erreur reste inférieure à une seconde en 3 millions d'années.

À chaque étape, un oscillateur plus rapide et plus stable remplace le précédent : astres, pendule, quartz, atome. L'exactitude relative atteint 10^{-14}, ce qui permet le temps atomique international et le GPS.

PIÈGE

Résumer les documents l'un après l'autre sans répondre à la question, ou dépasser 20 lignes. La consigne porte sur l'enchaînement « limite, puis adaptation » : il doit apparaître pour chaque instrument.

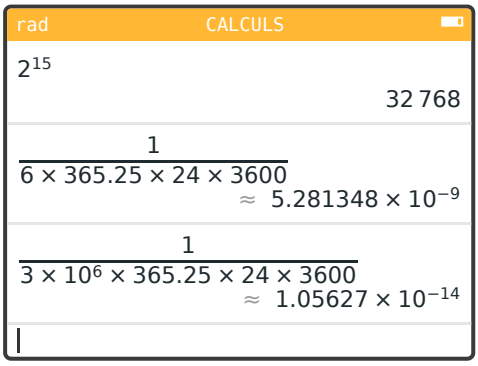
COMPRENDRE

$32\,768 = 2^{15}$: quinze divisions par 2 donnent 1 Hz. Une seconde en six ans représente environ 5×10^{-9} en valeur relative ; l'horloge atomique fait près d'un million de fois mieux.

MÉTHODE

Une synthèse suit un fil directeur annoncé dès la première phrase. Ici, pour chaque instrument : son principe, sa limite, puis la réponse apportée par le suivant. Citer une donnée chiffrée par document, sans recopier de phrases.

À LA CALCULATRICE



Des molécules témoins du mûrissement des pommes

Bac S 2013 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 2 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

1.1 Partie A. Donner le nom de la fonction chimique présente dans les deux molécules A et B.

Les deux molécules contiennent l'enchaînement $-COO-$: un carbone lié à un oxygène par une double liaison et à un second oxygène lui-même lié à un carbone.

Fonction **ester**.

PIÈGE
Ne pas confondre avec un acide carboxylique : dans un ester, le second oxygène porte une chaîne carbonée et non un atome d'hydrogène.

1.2 L'une des molécules se nomme éthanoate de 3-méthylbutyle. Laquelle ? Justifier.

« Éthanoate » : la partie issue de l'acide compte 2 carbones, CH_3-CO-O^- : c'est le cas de A (carbones 1 et 2).

« 3-méthylbutyle » : la chaîne liée à l'oxygène compte 4 carbones (1' à 4') avec un méthyle sur le carbone 3' : c'est encore A.

Pour B, la partie acide compte 4 carbones et la chaîne liée à l'oxygène 2 (2-méthylbutanoate d'éthyle).

La molécule **A** est l'éthanoate de 3-méthylbutyle.

MÉTHODE
Pour nommer un ester, couper la liaison entre l'oxygène simple et la chaîne : le côté $C=O$ donne « …oate », l'autre côté donne « …yle ».

1.3 Préciser la formule brute des composés A et B, puis la relation qui les lie.

A : 7 carbones, $3+2+2+1+3+3=14$ hydrogènes, 2 oxygènes. B : 7 carbones, $3+2+1+3+2+3=14$ hydrogènes, 2 oxygènes.

A et B ont la même formule brute mais des formules semi-développées différentes.

Formule brute $C_7H_{14}O_2$ pour les deux : A et B sont **isomères** (de constitution).

1.4 La molécule A possède-t-elle un ou des carbones asymétriques ? Si oui, les repérer par un astérisque.

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

Dans A : les carbones des groupes CH_3 et CH_2 portent au moins deux hydrogènes ; le carbone 1 n'est lié qu'à trois atomes ; le carbone 3' porte deux groupes CH_3 identiques.

A ne possède **aucun carbone asymétrique** : pas d'astérisque à placer.

COMPRENDRE
La chiralité, le carbone asymétrique et les énantiomères (Q1.5) ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

1.5 Donner le type de stéréoisomérie de configuration qui lie B1 et B2. Justifier.

Le carbone 2 de B est asymétrique : il porte H, CH_3, C_2H_5 et $COOC_2H_5$.

B1 et B2 ne diffèrent que par l'échange des positions de H et de CH_3 autour de ce carbone : chacun est l'image de l'autre dans un miroir plan, et les deux ne sont pas superposables.

B1 et B2 sont des **énantiomères**.

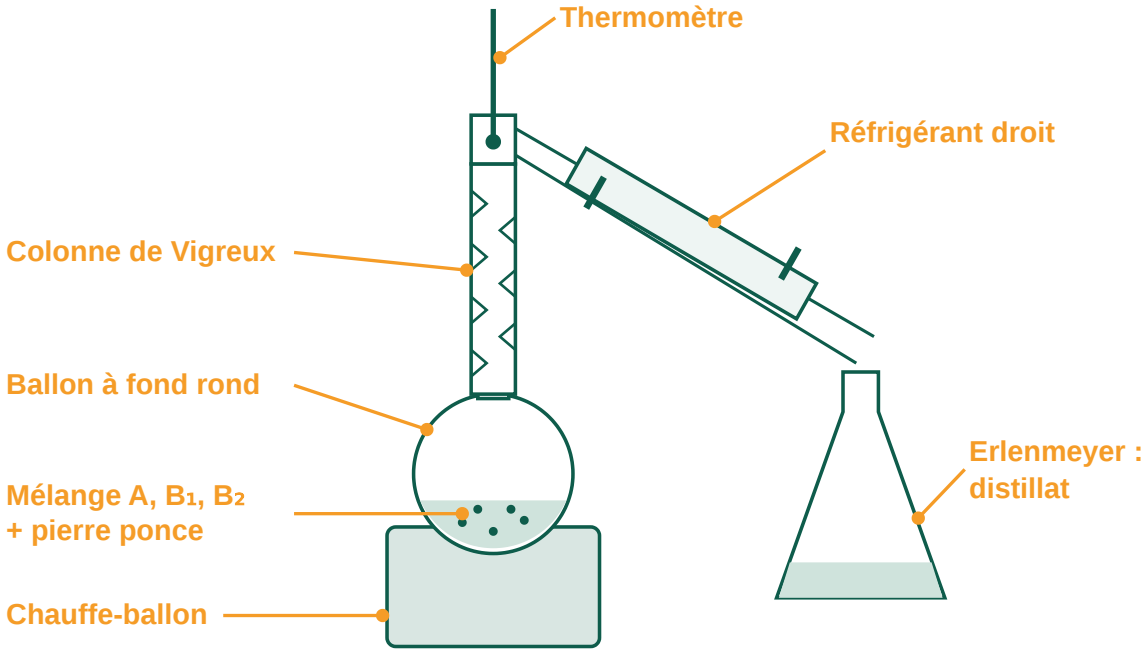
PIÈGE
Ne pas répondre « diastéréoisomères » : avec un seul carbone asymétrique, deux stéréoisomères de configuration sont forcément énantiomères.

2.1 Annoter le schéma de distillation fractionnée de l'annexe 1.

Les sept légendes de l'annexe 1 :

- thermomètre (réservoir à la hauteur de la sortie des vapeurs) ;
- réfrigérant droit, parcouru par l'eau froide ;
- colonne de Vigreux ;
- ballon à fond rond ;
- chauffe-ballon ;
- erlenmeyer recueillant le distillat ;
- mélange de A, B1 et B2 avec la pierre ponce.

Schéma annoté ci-contre.



2.1 · Annexe 1 complétée : montage de distillation fractionnée

2.2 À l'aide des données, dire si une séparation est possible et, si oui, l'ordre de recueil des composés dans le distillat.

Données utiles $\theta_{éb}$ (sous 1 bar) : A : 142 °C ; B1 : 133 °C ; B2 : 133 °C

La distillation fractionnée sépare des espèces de températures d'ébullition différentes.

B1 et B2 ont la même température d'ébullition : on ne peut pas les séparer l'un de l'autre.

A bout à 142 °C, plus haut que B1 et B2 : on peut séparer A du mélange B1 + B2.

Le composé le plus volatil passe en premier : le mélange B1 + B2 est recueilli à 133 °C, puis A quand la température en tête de colonne atteint 142 °C.

Séparation possible de A d'un côté, du mélange **B1 + B2** de l'autre ; B1 + B2 sont recueillis **en premier**, puis A.

PIÈGE
Un écart de 9 °C seulement impose une colonne efficace et un chauffage lent, sinon le premier distillat contient aussi un peu de A.

COMPRENDRE
Deux énantiomères ont les mêmes propriétés physiques usuelles : aucune distillation ne peut les séparer.

3.1 Noter dans l'annexe 3 la multiplicité des hydrogènes HA, HB (molécule A) et HC, HD (molécule B).

Un groupe d'hydrogènes équivalents ayant n hydrogènes voisins (portés par les carbones adjacents) donne un signal à $n+1$ pics.

- HA (CH_3 lié au carbone 1, qui ne porte pas d'hydrogène) : $n=0$, **singulet** ;
- HB (CH_2 voisin d'un CH_2) : $n=2$, **triplet** ;
- HC (CH voisin d'un CH_3 et d'un CH_2) : $n=3+2=5$, **sextuplet** ;
- HD (CH_2 voisin d'un CH_3) : $n=3$, **quadruplet**.

HA : singulet ; HB : triplet ; HC : sextuplet ; HD : quadruplet.

PIÈGE
L'oxygène et le carbone du groupe $-COO-$ ne portent pas d'hydrogène : ils coupent le couplage. Seuls comptent les hydrogènes des carbones directement voisins.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN ne figure plus au programme actuel de spécialité.

3.2 Associer les spectres 1 et 2 aux molécules A et B.

Le spectre 1 présente un singulet ($\delta \approx 2{,}0$ ppm) : seule A en possède un (HA). Son triplet vers $\delta \approx 4{,}1$ ppm correspond à HB, en accord avec $-CH_2-OCOR$ (4,0 à 4,5 ppm).

Le spectre 2 présente un quadruplet vers $\delta \approx 4{,}1$ ppm ($-CH_2-OCOR$, HD) et un sextuplet vers $\delta \approx 2{,}4$ ppm ($-CH-COOR$, HC) : c'est B.

Spectre 1 : molécule **A** ; spectre 2 : molécule **B**.

MÉTHODE
Associer un spectre à une molécule : chercher un signal que seule l'une des deux peut donner (ici le singulet), puis confirmer avec les déplacements chimiques tabulés.

1.1 Partie B. Donner le nom et la formule du produit manquant dans l'équation d'estérification.

Conservation des éléments, en formules brutes : $C_2H_4O_2 + C_5H_{12}O \rightleftharpoons C_7H_{14}O_2 + ?$

Il manque 0 carbone, $4+12-14=2$ hydrogènes et $2+1-2=1$ oxygène.

Le produit manquant est l'**eau**, H_2O.

1.2 L'acide sulfurique rend la réaction plus rapide sans intervenir dans le bilan. En déduire son rôle.

Une espèce qui accélère une réaction sans apparaître dans son équation est un catalyseur.

L'acide sulfurique (ions H^+) joue le rôle de **catalyseur**.

COMPRENDRE
Le catalyseur réduit la durée de la transformation mais ne modifie pas l'état final : le rendement n'augmente pas grâce à lui.

1.3 Expliquer pourquoi on ajoute de l'eau salée et non de l'eau, et pourquoi elle doit être froide.

Données utiles solubilité de A : eau à 20 °C : ≈ 2 g/L ; eau salée saturée à 20 °C : ≈ 0,5 g/L ; eau à 0 °C : ≈ 1,0 g/L

La solubilité de A est divisée par quatre dans l'eau salée (0,5 g/L au lieu de 2 g/L) et par deux dans l'eau à 0 °C (1,0 g/L au lieu de 2 g/L).

L'eau salée et froide dissout **le moins possible de A** : presque tout l'ester reste dans la phase organique et on en perd moins avec la phase aqueuse.

COMPRENDRE
L'eau salée est aussi plus dense (1,20) : elle facilite la décantation. Ce procédé s'appelle le relargage.

1.4 Dans quelle phase se trouvent A, l'eau, les ions, le 3-méthylbutan-1-ol et l'acide éthanoïque lors de la première décantation ? Quelle phase est au-dessus ? Justifier.

Données utiles densités : A : 0,87 ; 3-méthylbutan-1-ol : 0,81 ; acide éthanoïque : 1,05 ; eau salée saturée : 1,20

- A, très peu soluble dans l'eau salée : phase **organique** ;
- 3-méthylbutan-1-ol, très peu soluble dans l'eau salée : phase **organique** ;
- eau et ions : phase **aqueuse** ;
- acide éthanoïque, très soluble dans l'eau salée : phase **aqueuse**.

La phase organique contient A ($d = 0{,}87$) et l'alcool ($d = 0{,}81$), moins denses que l'eau salée ($d = 1{,}20$).

La phase **organique** est au-dessus, car elle est la moins dense.

PIÈGE
Justifier par les densités, et pas seulement par « l'organique est toujours au-dessus » : le dichlorométhane, par exemple, est plus dense que l'eau.

1.5 Préciser la nature de l'effervescence lors de l'ajout d'hydrogénocarbonate de sodium et écrire l'équation de la réaction acido-basique.

Données utiles $\mathrm{p}K_\mathrm{a}(\mathrm{CO_2, H_2O/HCO_3^-}) = 6{,}4$; $\mathrm{p}K_\mathrm{a}(\mathrm{CH_3COOH/CH_3COO^-}) = 4{,}8$

Les ions $\mathrm{HCO_3^-}$ (base) réagissent avec l'acide éthanoïque restant dans la phase organique : l'acide le plus fort ($\mathrm{p}K_\mathrm{a} = 4{,}8$) réagit avec la base du couple de $\mathrm{p}K_\mathrm{a}$ le plus élevé (6,4).

$$\mathrm{CH_3COOH\,(aq) + HCO_3^-\,(aq) \longrightarrow CH_3COO^-\,(aq) + CO_2\,(g), H_2O\,(l)}$$

L'effervescence est un dégagement de **dioxyde de carbone** $\mathrm{CO_2\,(g)}$.

COMPRENDRE
La fin de l'effervescence signale que l'acide restant (éthanoïque et sulfurique) est éliminé.

MÉTHODE
Pour écrire une réaction acido-basique, prendre l'acide d'un couple et la base de l'autre ; elle est favorisée quand l'acide a le plus petit $\mathrm{p}K_\mathrm{a}$.

2.1 Calculer les quantités de matière de 3-méthylbutan-1-ol et d'acide éthanoïque introduites.

Données utiles $V_1 = 20{,}0$ mL, $d_1 = 0{,}81$, $M_1 = 88\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $V_2 = 30{,}0$ mL, $d_2 = 1{,}05$, $M_2 = 60\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $\rho_\mathrm{eau} = 1{,}00\ \mathrm{g \cdot mL^{-1}}$

$\rho = d \times \rho_\mathrm{eau}$ et $m = \rho V$, donc $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{d\,\rho_\mathrm{eau}\,V}{M}$

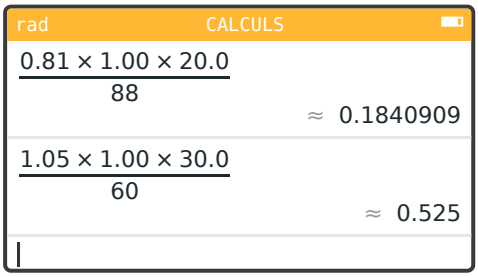
$$n_1 = \frac{0{,}81 \times 1{,}00 \times 20{,}0}{88} = 0{,}18\ \mathrm{mol}$$

$$n_2 = \frac{1{,}05 \times 1{,}00 \times 30{,}0}{60} = 0{,}53\ \mathrm{mol}$$

$n_1 = 0{,}18$ mol de 3-méthylbutan-1-ol ; $n_2 = 0{,}53$ mol d'acide éthanoïque

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la densité $0{,}81$ et la masse molaire 88 ou 60, les données les moins précises.

À LA CALCULATRICE



2.2 En déduire le rendement r de la synthèse.

Données utiles $V_A = 18{,}1$ mL, $d_A = 0{,}87$, $M_A = 130\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; n_1 et n_2 (Q2.1)

Quantité de A obtenue : $n_A = \dfrac{d_A\,\rho_{\text{eau}}\,V_A}{M_A} = \dfrac{0{,}87 \times 1{,}00 \times 18{,}1}{130} = 0{,}12\ \text{mol}$

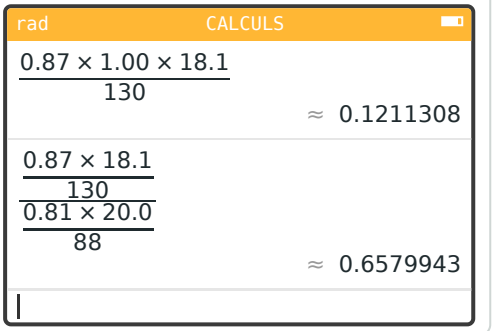
Alcool et acide réagissent mole à mole et $n_1 < n_2$: le **3-méthylbutan-1-ol est le réactif limitant**, $x_{\max} = n_1$.

$$r = \frac{n_A}{n_1} = \frac{0{,}121}{0{,}184} = 0{,}66$$

$r = 66\ \%$

PIÈGE
Diviser par les valeurs arrondies $0{,}12/0{,}18$ donne 67 % : garder les valeurs non arrondies en mémoire de la calculatrice.

À LA CALCULATRICE



3.1 Indiquer dans l'annexe 4 le type de réaction des étapes 2 et 4 du mécanisme.

Étape 2 : deux réactifs donnent un seul produit, la double liaison $C{=}O$ devient simple.

Étape 4 : un réactif donne deux produits (dont H_2O), une double liaison $C{=}O$ se forme.

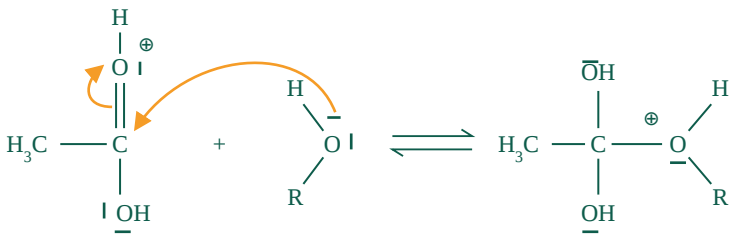
Étape 2 : **addition** ; étape 4 : **élimination**.

3.2 Recopier l'étape 2 et dessiner les flèches courbes des transferts électroniques.

- Une flèche part d'un doublet non liant de l'oxygène de $R{-}OH$ (site donneur) et pointe vers le carbone central (site accepteur, déficitaire en électrons à cause de l'oxygène chargé positivement).
- Une flèche part de la double liaison $C{=}O$ et pointe vers l'oxygène chargé positivement, qui récupère ce doublet et devient neutre.

Deux flèches courbes : doublet de O (alcool) vers C ; liaison $C{=}O$ vers O^+.

MÉTHODE
Une flèche courbe va toujours d'un doublet (non liant ou de liaison) vers un atome déficitaire. Vérifier ensuite les charges : l'oxygène de l'alcool devient positif dans le produit.



3.2 · Étape 2 recopiée avec les flèches courbes (en orange)

3.3 Comment le cation H^+ intervient-il dans le mécanisme ? Cela confirme-t-il la réponse à la question B.1.2 ?

H^+ est consommé à l'étape 1 (il se fixe sur l'oxygène du groupe $C{=}O$ de l'acide) et il est régénéré à l'étape 5.

Il intervient dans le mécanisme mais n'apparaît pas dans le bilan.

Oui : H^+ est un **catalyseur**, ce qui confirme la réponse à la question B.1.2.

COMPRENDRE
En se fixant sur l'oxygène, H^+ rend le carbone plus déficitaire en électrons, donc plus facilement attaqué par l'alcool à l'étape 2.

Détermination du rapport e/m pour l'électron

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

1.1 Représenter sur l'annexe le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$, à l'échelle 1,0 cm pour $5{,}0\ \text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$.

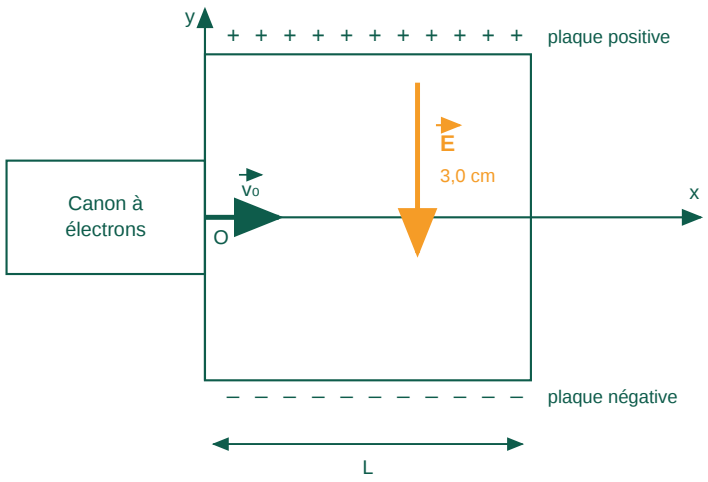
Données utiles $E = 15{,}0\ \text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$

D'après le document 2, $\vec{E}$ est perpendiculaire aux plaques et dirigé de la plaque positive vers la plaque négative : il est vertical, orienté vers le bas.

Longueur du vecteur : $\dfrac{15{,}0}{5{,}0} \times 1{,}0 = 3{,}0\ \text{cm}$.

$\vec{E}$: flèche verticale de 3,0 cm, pointant vers la plaque négative (voir annexe).

PIÈGE
Orienter $\vec{E}$ vers la plaque positive, ou tracer une flèche sans respecter l'échelle : la longueur de 3,0 cm est notée.



1.1 · Annexe complétée : le champ électrostatique entre les plaques (échelle : 1,0 cm pour 5,0 kV·m⁻¹)

1.2 Le faisceau est dévié vers la plaque chargée positivement. Expliquer comment Thomson en a déduit que les électrons sont chargés négativement.

D'après le document 4, deux charges de signes opposés s'attirent et deux charges de même signe se repoussent.

Le faisceau se rapproche de la plaque positive et s'éloigne de la plaque négative : les électrons sont attirés par les charges positives et repoussés par les charges négatives.

Les électrons portent donc une charge de signe opposé à celui de la plaque qui les attire : une charge négative.

1.3 Donner la relation entre la force électrostatique $\vec{F}$ subie par un électron, la charge élémentaire e et le champ $\vec{E}$. Montrer que le sens de déviation du faisceau est cohérent avec le sens de $\vec{F}$.

D'après le document 3, $\vec{F} = q\,\vec{E}$ avec $q = -e$ pour un électron, donc $\vec{F} = -e\,\vec{E}$.

Comme $e > 0$, la force $\vec{F}$ a la même direction que $\vec{E}$ mais le sens opposé. Or $\vec{E}$ pointe vers la plaque négative (Q1.1) : $\vec{F}$ est donc verticale, dirigée vers la plaque positive.

$\vec{F} = -e\,\vec{E}$: la force est orientée vers la plaque positive, ce qui correspond bien au sens de la déviation observée.

COMPRENDRE
Le poids étant négligé, $\vec{F}$ est la seule force : c'est elle qui courbe la trajectoire. Une particule positive serait déviée dans le sens de $\vec{E}$, vers la plaque négative.

2.1 En appliquant la deuxième loi de Newton à l'électron, montrer que les coordonnées de son vecteur accélération sont $a_x = 0$ et $a_y = \dfrac{eE}{m}$.

Système {électron}, de masse m constante ; référentiel terrestre (du laboratoire) supposé galiléen.

Bilan des forces : la force électrostatique $\vec{F} = -e\,\vec{E}$; le poids est négligé.

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

$$\vec{a} = -\frac{e}{m}\,\vec{E}$$

Dans le repère $(O;\vec{i},\vec{j})$, le champ est vertical vers le bas : $\vec{E} = -E\,\vec{j}$, c'est-à-dire $E_x = 0$ et $E_y = -E$.

En projetant : $a_x = -\dfrac{e}{m} \times 0$ et $a_y = -\dfrac{e}{m} \times (-E)$.

$a_x = 0$ et $a_y = \dfrac{eE}{m}$

PIÈGE
Oublier le signe de E_y : E désigne la norme, positive, alors que la coordonnée du champ sur (Oy) vaut $-E$. Les deux signes « $-$ » se compensent.

COMPRENDRE
En 2013, cette loi s'énonçait avec la quantité de mouvement, $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t}$, notion sortie du programme actuel de spécialité. À masse constante, elle redonne $m\,\vec{a}$.

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : système, référentiel galiléen, bilan des forces, loi vectorielle, puis projection sur chaque axe en soignant les signes.

2.2.1 À partir de l'équation de la trajectoire et de la déviation h en $x = L$, exprimer le rapport $\dfrac{e}{m}$ en fonction de E, L, h et v_0.

À la sortie des plaques, $x = L$ et $y = h$. L'équation de la trajectoire donne :

$$h = \frac{eE}{2\,m\,v_0^2}\,L^2$$

On isole $\dfrac{e}{m}$ en multipliant par $\dfrac{2\,v_0^2}{E\,L^2}$:

$$\frac{e}{m} = \frac{2\,h\,v_0^2}{E\,L^2}$$

2.2.2 Donner la valeur du rapport $\dfrac{e}{m}$.

Données utiles $v_0 = 2{,}27 \times 10^7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $E = 15{,}0\ \text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$; $L = 8{,}50$ cm ; $h = 1{,}85$ cm

Conversions : $E = 15{,}0 \times 10^3\ \text{V}\cdot\text{m}^{-1}$; $L = 8{,}50 \times 10^{-2}$ m ; $h = 1{,}85 \times 10^{-2}$ m.

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \times 1{,}85 \times 10^{-2} \times (2{,}27 \times 10^7)^2}{15{,}0 \times 10^3 \times (8{,}50 \times 10^{-2})^2}$$

$$\frac{e}{m} = 1{,}76 \times 10^{11}\ \text{C}\cdot\text{kg}^{-1}$$

PIÈGE
Laisser L et h en centimètres ou E en $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$: le résultat est alors faux d'un facteur 10 ou 1000. Ne pas oublier non plus les carrés.

COMPRENDRE
Toutes les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. L'unité se lit sur le rapport lui-même : une charge divisée par une masse.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2 \times 1.85 \times 10^{-2} \times (2.27 \times 10^{7})^2}{15.0 \times 10^{3} \times (8.50 \times 10^{-2})^2} \approx 1.759237 \times 10^{11}$$

2.2.3 Calculer l'incertitude $U\left(\frac{e}{m}\right)$ avec la formule fournie, puis exprimer le résultat de $\frac{e}{m}$ avec cette incertitude.

Données utiles $v_0 = (2{,}27 \pm 0{,}02) \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $E = (15{,}0 \pm 0{,}1) \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$; $L = (8{,}50 \pm 0{,}05)$ cm ; $h = (1{,}85 \pm 0{,}05)$ cm ; $\frac{e}{m} = 1{,}76 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Q2.2.2)

On applique la formule de l'énoncé avec $\frac{e}{m} = 1{,}76 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Chaque rapport est sans unité : on peut garder les unités de l'énoncé.

Incertitudes relatives : $\frac{U(h)}{h} = \frac{0{,}05}{1{,}85}$; $\frac{U(E)}{E} = \frac{0{,}1}{15{,}0}$; $\frac{U(v_0)}{v_0} = \frac{0{,}02}{2{,}27}$; $\frac{U(L)}{L} = \frac{0{,}05}{8{,}50}$.

$$\sqrt{\left(\frac{0{,}05}{1{,}85}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{15{,}0}\right)^2 + 4\left(\frac{0{,}02}{2{,}27}\right)^2 + 4\left(\frac{0{,}05}{8{,}50}\right)^2} = 0{,}0350$$

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = 1{,}76 \times 10^{11} \times 0{,}0350 = 6{,}2 \times 10^{9} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$$

On arrondit à un seul chiffre significatif : $U\left(\frac{e}{m}\right) = 6 \times 10^{9} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} = 0{,}06 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

$$\boxed{\frac{e}{m} = (1{,}76 \pm 0{,}06) \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}}$$

COMPRENDRE

La mesure de h pèse le plus : son incertitude relative (2,7 %) dépasse nettement les autres. L'intervalle obtenu, de $1{,}70 \times 10^{11}$ à $1{,}82 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$, mesure la précision de l'expérience.

MÉTHODE

L'incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif, puis la valeur s'arrête au même rang décimal : ici le centième, avec la même puissance de dix pour les deux.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\sqrt{\left(\frac{0.05}{1.85}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{15.0}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{0.02}{2.27}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{0.05}{8.50}\right)^2} \approx 0.03498311$$

$$1.76 \times 10^{11} \times \sqrt{\left(\frac{0.05}{1.85}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{15.0}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{0.02}{2.27}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{0.05}{8.50}\right)^2} \approx 6.157027 \times 10^{9}$$

Spécialité : L'effet larsen

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

1 Comment doivent être connectés un haut-parleur et un microphone pour que l'effet Larsen ait lieu ?

D'après le document 1, deux conditions sont nécessaires :

- le microphone et le haut-parleur sont branchés sur la **même chaîne d'amplification** ;
- ils sont placés **près l'un de l'autre**, de sorte que le son du haut-parleur capté par le microphone ait un niveau sonore supérieur à celui de la voix.

Microphone et haut-parleur reliés au même amplificateur et suffisamment proches : le son tourne alors en boucle.

COMPRENDRE
C'est une rétroaction : le microphone capte le haut-parleur, l'amplificateur renforce ce signal, le haut-parleur le réémet plus fort, et ainsi de suite.

2 Quels sont les dangers que présente l'effet Larsen ?

Le signal s'amplifie jusqu'aux limites de fonctionnement des appareils : le **matériel** (amplificateur, haut-parleur) peut être **endommagé**.

Le sifflement aigu, de niveau sonore très élevé, est **douloureux** et présente un risque pour l'**audition** des personnes présentes.

Deux dangers : détérioration du matériel et risque auditif.

3 Citer un cas où l'effet Larsen est recherché.

D'après le document 2, des guitaristes comme Jimi Hendrix provoquent volontairement le Larsen de leur amplificateur et le contrôlent en jouant.

À la guitare électrique, le Larsen sert à créer de nouvelles sonorités.

4 Donner la valeur de la fréquence f du son musical enregistré, avec son incertitude $U(f)$.

Données utiles $T = (2{,}25 \pm 0{,}05)$ ms ; $U(f) = f \times \dfrac{U(T)}{T}$

Fréquence : $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{2{,}25 \times 10^{-3}} = 444$ Hz

Incertitude : $U(f) = f \times \dfrac{U(T)}{T} = 444 \times \dfrac{0{,}05}{2{,}25} = 9{,}9$ Hz, arrondie à un chiffre significatif : $U(f) = 1 \times 10^{1}$ Hz.

La fréquence n'est donc connue qu'à la dizaine de hertz près : on arrondit f à la dizaine.

$f = (4{,}4 \pm 0{,}1) \times 10^{2}$ Hz

PIÈGE
Laisser T en millisecondes donne $0{,}444$, qui n'est pas en hertz. Les deux T du rapport $U(T)/T$ peuvent en revanche rester en ms.

COMPRENDRE
Une incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif et le dernier chiffre de la valeur a le même rang qu'elle : écrire 444 ± 10 Hz afficherait une précision que la mesure n'a pas.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1}{2.25 \times 10^{-3}} \approx 444.4444$

$\frac{\frac{1}{2.25 \times 10^{-3}} \times 0.05}{2.25} \approx 9.876543$

5 Que pourra-t-on observer sur le spectre en fréquence si le guitariste ajoute l'effet d'une pédale Octavia ?

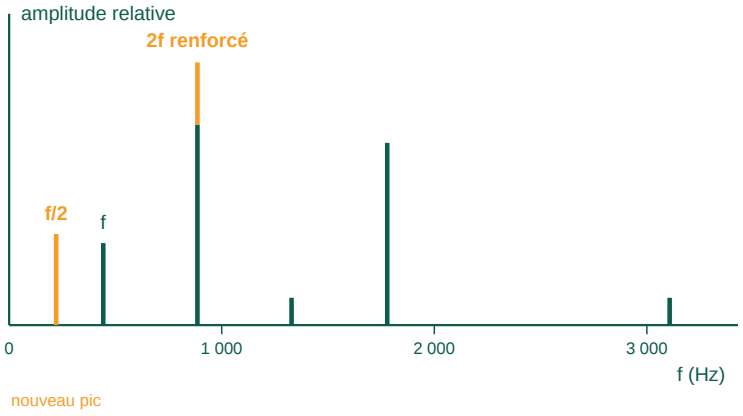
Données utiles $f = 4{,}4 \times 10^2$ Hz (Q4)

Sur le spectre du document 3, le premier pic est le fondamental, de fréquence $f \approx 4{,}4 \times 10^2$ Hz.

D'après le document 2, la pédale Octavia produit deux effets.

- Elle crée un son pur à l'octave inférieure du fondamental, donc de fréquence moitié : un **nouveau pic** apparaît à $\frac{f}{2} \approx 2{,}2 \times 10^2$ Hz.
- Elle renforce l'harmonique située à l'octave supérieure, de fréquence double : le pic à $2f \approx 8{,}8 \times 10^2$ Hz devient **plus haut**.

Un pic supplémentaire à $f/2 \approx 2{,}2 \times 10^2$ Hz et un pic à $2f \approx 8{,}8 \times 10^2$ Hz d'amplitude plus grande.



5 · Allure du spectre avec la pédale Octavia (modifications en orange)

PIÈGE
Ne pas décaler tout le spectre : les pics existants gardent leur fréquence. Seuls changent l'ajout d'un pic à $f/2$ et la hauteur du pic à $2f$.

COMPRENDRE
Fondamental, harmoniques et timbre relevaient de l'ancien programme ; ils ne figurent plus dans celui de la spécialité actuelle. Le pic ajouté est unique car un son pur ne contient qu'une seule fréquence.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{4.4 \times 10^2}{2} \approx 220$

$4.4 \times 10^2 \times 2 \approx 880$

6 Déterminer la distance minimale d nécessaire entre le haut-parleur et le microphone pour que l'effet Larsen soit évité.

Données utiles $L_1 = 92$ dB à $d_1 = 1{,}0$ m du haut-parleur ; voix : $L_V = 73$ dB ; angle de 90° entre l'axe du microphone et la direction du haut-parleur ; $I = I_0 \times 10^{L/10}$; $P = 4\pi d^2 I$

Condition. D'après le document 1, le Larsen est évité si le niveau sonore du haut-parleur capté par le microphone ne dépasse pas celui de la voix, soit 73 dB.

Atténuation due au microphone. Le son du haut-parleur arrive à 90° de l'axe du microphone. Sur le diagramme du document 6, la courbe passe à 90° un peu au-delà du cercle -5 dB : l'atténuation est d'environ 6 dB. À la limite, le niveau sonore à l'emplacement du microphone vaut donc

$$L_{\text{lim}} = 73 + 6 = 79 \text{ dB}$$

Intensités sonores. Avec $I = I_0 \times 10^{L/10}$:

- à 1,0 m : $I_1 = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{9{,}2} = 1{,}6 \times 10^{-3}$ W · m^{-2} ;
- à la limite : $I_{\text{lim}} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{7{,}9} = 7{,}9 \times 10^{-5}$ W · m^{-2}.

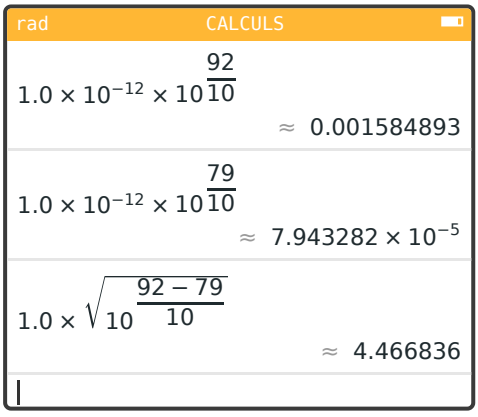
Distance. La puissance P du haut-parleur est constante : $4\pi d_1^2 I_1 = 4\pi d^2 I$, donc $I = I_1 \dfrac{d_1^2}{d^2}$: l'intensité diminue quand d augmente.

Le Larsen est évité si $I \leqslant I_{\text{lim}}$, c'est-à-dire si

$$d \geqslant d_1 \sqrt{\frac{I_1}{I_{\text{lim}}}} = 1{,}0 \times \sqrt{10^{(92-79)/10}} = 4{,}5 \text{ m}$$

$d_{\min} \approx 4{,}5$ m : le microphone doit être à au moins 4,5 m du haut-parleur.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Les niveaux sonores ne se divisent pas entre eux : le rapport $92/79$ n'a aucun sens. On repasse par les intensités, seules proportionnelles à $1/d^2$.

COMPRENDRE
La lecture du diagramme est approximative : avec 5 dB d'atténuation au lieu de 6, on trouverait 5,0 m. Deux chiffres significatifs suffisent, comme pour les données.

MÉTHODE
Problème à documents : 1) écrire la condition demandée ; 2) corriger les niveaux en dB (atténuation) ; 3) convertir en intensités ; 4) utiliser la conservation de P pour relier intensité et distance.