Corrigé complet — Bac S 2013 Centres étrangers (ancien programme)

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

Ex 1	**La télémétrie LASER** Longueur d'onde et fréquence · Laser pulsé et puissance · Énergie d'un photon · Diffraction et divergence d'un faisceau · Mesure de distance par temps de vol · Précision d'une mesure	7 pts	1 h 10	10 questions	p. 2
Ex 2	**L'estérification** Estérification · Sites donneur et accepteur de doublet d'électrons · Chauffage à reflux · Facteurs cinétiques et catalyse · Titrage acido-basique · RMN du proton	8 pts	1 h 20	9 questions	p. 6
Ex 3	**Le génie des physiciens et des chimistes au service de la mesure du temps** Pendule simple et période propre · Analyse dimensionnelle · Énergies cinétique, potentielle et mécanique · Formule de Lewis et géométrie · Couple acide-base et pK_A · Diagramme de prédominance	5 pts	50 min	8 questions	p. 10
Ex 4	**Spécialité : "ça farte!"** Bilan des forces · Deuxième loi de Newton · Frottements et transferts d'énergie · Électronégativité · Polarité des liaisons et des molécules · Caractère hydrophobe	5 pts	50 min	7 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 télémétrie LASER

Bac S 2013 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1 Montrer, avec la relation $c = \lambda \cdot \nu$, que doubler la fréquence divise par deux la longueur d'onde émise initialement par le laser.

Données utiles $\lambda_1 = 1064$ nm (radiation initiale) ; $\lambda = 532$ nm (en sortie)

La célérité c de la lumière dans le vide est une constante. Pour la radiation initiale : $\lambda_1 = \dfrac{c}{\nu_1}$.

Après doublage, la fréquence vaut $\nu_2 = 2\,\nu_1$, d'où :

$$\lambda_2 = \frac{c}{\nu_2} = \frac{c}{2\,\nu_1} = \frac{\lambda_1}{2}$$

Vérification avec le document 1 : $\dfrac{1064}{2} = 532$ nm.

$\lambda_2 = \dfrac{\lambda_1}{2}$: la longueur d'onde passe de 1064 nm à 532 nm.

COMPRENDRE
À c fixée, λ et ν sont inversement proportionnelles. La radiation passe ainsi de l'infrarouge (1064 nm) au visible (532 nm, vert).

1.2.1 Indiquer une propriété particulière du laser pulsé.

Un laser pulsé n'émet pas en continu : il délivre son énergie par impulsions extrêmement brèves (20 ps ici).

L'énergie lumineuse est concentrée dans le temps.

COMPRENDRE
Tout laser est aussi monochromatique, directif et concentre l'énergie dans l'espace ; la concentration dans le temps est propre au laser pulsé. Le laser ne figure plus au programme actuel de spécialité.

1.2.2 Justifier l'affirmation : le laser émet des impulsions de puissance instantanée fantastique.

Données utiles $E = 200$ mJ ; durée d'une impulsion $\Delta t = 20$ ps ; $p = \dfrac{E}{\Delta t}$

$$p = \frac{E}{\Delta t} = \frac{200 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-12}} = 1{,}0 \times 10^{10}\ \text{W}$$

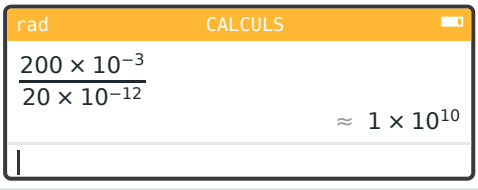
Cette puissance, 10 GW, est de l'ordre de celle de plusieurs réacteurs nucléaires (environ 1 GW chacun), mais elle n'est délivrée que pendant 20 ps.

$p = 1{,}0 \times 10^{10}$ W $= 10$ GW : la puissance instantanée est bien considérable.

PIÈGE
Confondre la durée de l'impulsion (20 ps, document 1) avec la précision de l'horloge ($\Delta t = 1$ ps, document 2), notée par le même symbole. Convertir : 1 mJ $= 10^{-3}$ J, 1 ps $= 10^{-12}$ s.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la durée 20 ps. L'énergie reste modeste ($0{,}2$ J) : c'est la brièveté de l'impulsion qui rend la puissance énorme.

À LA CALCULATRICE



1.3 Estimer, à l'aide d'ordres de grandeur, le nombre de photons émis à chaque impulsion en direction de la Lune.

Données utiles $E = 200$ mJ ; $\lambda = 532$ nm ; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $c \approx 3 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $e = h \cdot \dfrac{c}{\lambda}$

L'énergie d'une impulsion est celle de N photons d'énergie e : $E = N \cdot e$, donc

$$N = \frac{E}{e} = \frac{E \cdot \lambda}{h \cdot c}$$

Ordres de grandeur : $E \sim 10^{-1}$ J ; $\lambda \sim 10^{-6}$ m ; $h \sim 10^{-33}$ J · s ; $c \sim 10^{8}$ m · s^{-1}.

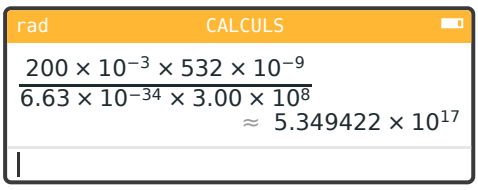
$$N \sim \frac{10^{-1} \times 10^{-6}}{10^{-33} \times 10^{8}} = \frac{10^{-7}}{10^{-25}} = 10^{18}$$

$N \sim 10^{18}$ photons par impulsion.

COMPRENDRE
Le calcul complet donne $N \approx 5 \times 10^{17}$, cohérent avec l'estimation. Au retour, on ne détecte que 2×10^{-21} J, alors qu'un photon transporte environ 4×10^{-19} J : moins d'un photon par impulsion en moyenne.

MÉTHODE
Ordre de grandeur : écrire la valeur sous la forme $a \times 10^{n}$; si $a < 5$ on garde 10^{n}, sinon 10^{n+1}. Ainsi $5{,}32 \times 10^{-7}$ m donne 10^{-6} m et $6{,}63 \times 10^{-34}$ donne 10^{-33}.

À LA CALCULATRICE



1.4.1 À partir du document 3, calculer le rayon de la tache lumineuse obtenue sur la Lune (schéma conseillé).

Données utiles élargissement de l'ordre de $1\ \mu$m par mètre parcouru (divergence $\alpha = 10^{-6}$ rad) ; $d_{T\text{-}L} \approx 400\,000$ km ; diamètre initial $D = 2$ m

Le faisceau s'écarte de son axe d'environ 10^{-6} m par mètre parcouru. Il parcourt $d_{T\text{-}L} = 4 \times 10^{8}$ m, donc son rayon augmente de :

$$\alpha \times d_{T\text{-}L} = 10^{-6} \times 4 \times 10^{8} = 4 \times 10^{2}\ \text{m}$$

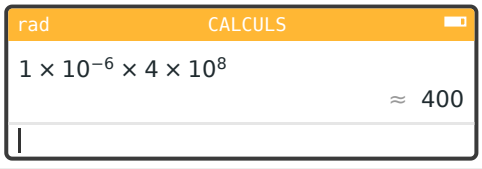
Le rayon initial, $\dfrac{D}{2} = 1$ m, est négligeable devant 400 m.

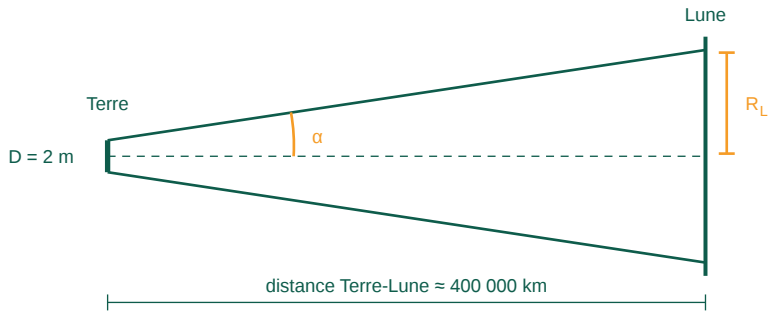
$R_L \approx 4 \times 10^{2}$ m

PIÈGE
Laisser la distance en kilomètres : $400\,000$ km $= 4 \times 10^{8}$ m. Un seul chiffre significatif suffit, les données étant des ordres de grandeur.

COMPRENDRE
Pour un angle très petit exprimé en radians, $\tan\alpha \approx \alpha$: dans le triangle rectangle du schéma, $R_L = d_{T\text{-}L} \times \tan\alpha \approx d_{T\text{-}L} \times \alpha$. Les deux formulations du document sont équivalentes.

À LA CALCULATRICE





1.4.1 · Divergence du faisceau entre la Terre et la Lune (échelle non respectée)

1.4.2 Commenter l'idée que, malgré une faible divergence, l'effet sur la Lune est important, en comparant le diamètre de la tache au diamètre initial D du faisceau.

Données utiles $R_L \approx 4 \times 10^2$ m (1.4.1) ; $D = 2$ m

Diamètre de la tache sur la Lune : $2\,R_L = 8 \times 10^2$ m.

$$\frac{2\,R_L}{D} = \frac{2 \times 4 \times 10^2}{2} = 4 \times 10^2$$

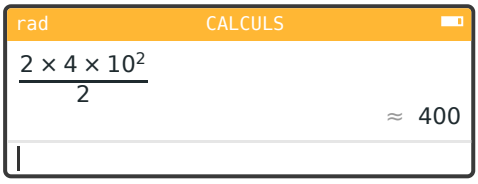
La divergence est très faible (10^{-6} rad), mais la distance parcourue est si grande que le faisceau s'élargit considérablement.

La tache a un diamètre d'environ 800 m, soit 400 fois le diamètre initial : l'effet à l'arrivée est bien important.

COMPRENDRE

L'énergie se répartit sur un disque d'aire $\pi R_L^2 \approx 5 \times 10^5\ \text{m}^2$, alors qu'un réflecteur n'offre que $0{,}5\ \text{m}^2$: environ un millionième de la lumière est renvoyé, et le retour diverge à son tour.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Par quel calcul sont obtenues les distances Terre-Lune du tableau ? Expliciter le calcul manquant et donner sa valeur, avec la précision de la calculatrice.

Données utiles $c = 299\,792\,458\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; durée aller-retour le 29/11/2002 à 05:59 : $\tau = 24\,164\,440\,511\,979 \times 10^{-13}$ s

Pendant la durée τ, l'impulsion parcourt un aller-retour, soit $2\,d_{T\text{-}L}$, à la célérité c :

$$c = \frac{2\,d_{T\text{-}L}}{\tau} \quad \text{donc} \quad d_{T\text{-}L} = \frac{c \cdot \tau}{2}$$

Pour la ligne manquante :

$$d_{T\text{-}L} = \frac{299\,792\,458 \times 24\,164\,440\,511\,979 \times 10^{-13}}{2} = 3{,}622158509 \times 10^8\ \text{m}$$

$d_{T\text{-}L} = 362\,215{,}8509$ km

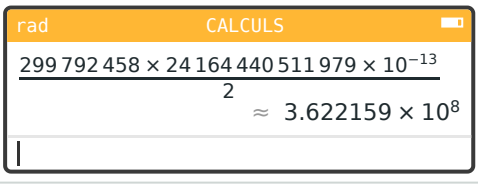
PIÈGE

Oublier le facteur $\frac{1}{2}$: la durée mesurée est celle d'un aller-retour. Attention aussi à l'unité de la colonne : les durées sont en 10^{-13} s, et le résultat sort en mètres.

COMPRENDRE

La calculatrice n'affiche que dix chiffres, soit le dixième de mètre ; le tableau en donne onze. La valeur s'insère bien entre ses voisines ($362\,741$ km et $362\,140$ km).

À LA CALCULATRICE



2.1.2 D'après le nombre de chiffres significatifs fournis par l'OCA, avec quelle précision la distance Terre-Lune est-elle mesurée actuellement ?

Les distances du tableau sont données en kilomètres avec cinq décimales (onze chiffres significatifs). Le dernier chiffre correspond à 10^{-5} km :

$$10^{-5}\ \text{km} = 10^{-5} \times 10^3\ \text{m} = 10^{-2}\ \text{m}$$

La distance Terre-Lune est mesurée au centimètre près.

COMPRENDRE

Un centimètre sur environ $3{,}6 \times 10^8$ m représente une précision relative de l'ordre de 3×10^{-11}.

2.1.3 Quel type d'horloge peut permettre d'atteindre une telle précision sur les durées de parcours des impulsions ?

Données utiles précision de l'horloge : $1\ \text{ps} = 10^{-12}$ s (document 2)

Il faut dater les impulsions à la picoseconde près, sur une durée d'aller-retour d'environ $2{,}4$ s.

Seule une horloge atomique permet d'atteindre une telle précision.

COMPRENDRE

Une horloge atomique s'appuie sur la fréquence, extrêmement stable, d'une radiation associée à une transition entre deux niveaux d'énergie d'un atome (le césium 133 pour la définition de la seconde).

2.2 Proposer deux hypothèses pour tenter d'expliquer les écarts observés sur la mesure de la distance Terre-Lune.

Du 27 au 30 novembre 2002, la distance mesurée diminue d'environ $10\,000$ km ; elle varie aussi d'environ 200 km au cours de la seule nuit du 27.

Hypothèse 1 : l'orbite de la Lune autour de la Terre n'est pas un cercle mais une ellipse ; la distance Terre-Lune varie donc réellement au cours du mois.

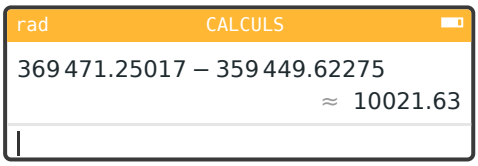
Hypothèse 2 : le calcul utilise la célérité dans le vide, alors que la lumière traverse deux fois l'atmosphère, où elle est légèrement plus lente ; la distance calculée s'en trouve faussée.

Orbite lunaire elliptique ; célérité de la lumière plus faible dans l'atmosphère que dans le vide.

COMPRENDRE

Autres réponses recevables : la rotation de la Terre déplace la station par rapport à la Lune pendant la nuit ; les cinq réflecteurs visés ne sont pas au même endroit sur la Lune.

À LA CALCULATRICE



L'estérification

Bac S 2013 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **8 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1 Nommer et donner la formule semi-développée des deux réactifs conduisant à la formation de l'éthanoate de butyle.

L'éthanoate de butyle s'écrit $CH_3-COO-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$: par comparaison avec $R_1-COO-R_2$, R_1 est un groupe méthyle et R_2 un groupe butyle.

- Acide carboxylique R_1-COOH : **acide éthanoïque**, CH_3-COOH.
- Alcool R_2-OH : **butan-1-ol**, $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$.

Réactifs : acide éthanoïque CH_3-COOH et butan-1-ol $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$.

PIÈGE
Inverser les deux chaînes et proposer l'acide butanoïque avec l'éthanol : on obtiendrait le butanoate d'éthyle, l'ester à odeur d'ananas cité dans l'introduction.

MÉTHODE
Dans le nom d'un ester, le premier terme (« éthanoate ») vient de l'acide et le second (« de butyle ») vient de l'alcool. On retrouve chaque réactif en coupant la molécule au niveau de la liaison $C-O$ simple.

1.2 Indiquer si la réaction d'estérification est une substitution, une addition ou une élimination. Justifier.

Les deux réactifs donnent deux produits, et aucune liaison multiple n'apparaît ni ne disparaît au bilan : la liaison double $C=O$ de l'acide se retrouve dans l'ester.

Sur l'atome de carbone du groupe carboxyle, le groupe $-OH$ de l'acide a été remplacé par le groupe $-O^*-R_2$ provenant de l'alcool.

L'estérification est une réaction de **substitution**.

MÉTHODE
Addition : deux réactifs, un seul produit, une liaison multiple disparaît. Élimination : un réactif, deux produits, une liaison multiple se forme. Substitution : un atome ou un groupe en remplace un autre.

1.3 Identifier pour chacun des réactifs un site donneur ou un site accepteur de doublet d'électrons, puis proposer une première étape pour le mécanisme de formation de l'ester.

Acide éthanoïque. L'oxygène est beaucoup plus électronégatif que le carbone : les liaisons $C=O$ et $C-O$ sont polarisées. L'atome de carbone du groupe carboxyle porte une charge partielle δ^+ : il constitue un **site accepteur** de doublet d'électrons.

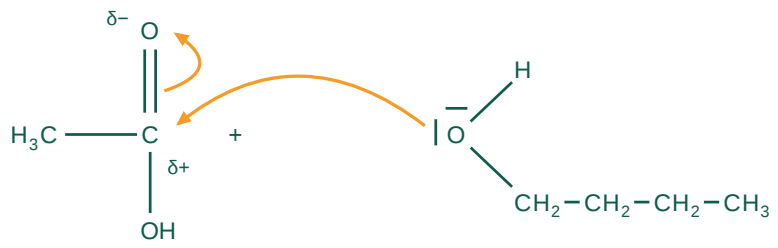
Butan-1-ol. L'atome d'oxygène O^* porte deux doublets non liants et une charge partielle δ^- : c'est un **site donneur** de doublet d'électrons.

Première étape. Un doublet non liant de O^* attaque l'atome de carbone δ^+ : une liaison $C-O^*$ se forme. Pour que le carbone garde quatre liaisons, un doublet de la liaison double $C=O$ bascule sur l'atome d'oxygène.

Flèche courbe partant d'un doublet non liant de O^* (site donneur) et pointant vers le carbone du groupe carboxyle (site accepteur) : formation de la liaison $C-O^*$.

PIÈGE
Tracer la flèche courbe du carbone vers l'oxygène. Une flèche représente le déplacement d'un doublet : elle part toujours du site donneur (doublet non liant ou liaison) et arrive sur le site accepteur.

COMPRENDRE
Cette étape est cohérente avec le marquage : la liaison $C-O^*$ créée ici est celle que l'on retrouve dans l'ester, et l'eau emporte l'oxygène du groupe $-OH$ de l'acide.



C : site accepteur O : site donneur (doublets non liants)

1.3 · Première étape proposée : le doublet non liant de l'oxygène de l'alcool attaque le carbone du groupe carboxyle

2.1 Justifier la constitution du montage utilisé pour réaliser l'estérification.

Il s'agit d'un montage de **chauffage à reflux**.

- Le chauffe-ballon impose la température du mélange, facteur cinétique : chauffer accélère la transformation.
- Le réfrigérant à boules condense les vapeurs, qui retombent dans le ballon : on chauffe sans perdre de matière, et les vapeurs inflammables ou nocives ne sont pas rejetées dans la salle.
- Le ballon bicol offre un second col, bouché, par lequel on effectue les prélèvements sans démonter le montage.
- La pierre ponce régularise l'ébullition.
- Le support élévateur permet de retirer rapidement le chauffe-ballon en cas d'emballement.

Chauffage à reflux : accélérer la réaction sans perte de matière, le second col servant aux prélèvements.

PIÈGE
Écrire que le réfrigérant « refroidit le mélange ». Il liquéfie seulement les vapeurs qui s'échappent ; le contenu du ballon reste à la température imposée par le chauffe-ballon.

2.2 Proposer une explication justifiant l'utilisation de bains d'eau froide et d'eau glacée.

La température est un facteur cinétique : plus elle est basse, plus la transformation est lente.

- **Bain d'eau froide (étape 1)** : les réactifs sont refroidis avant et pendant le mélange, si bien que la réaction n'avance pratiquement pas tant que le chronomètre n'est pas déclenché. La date $t = 0$ est ainsi bien définie.
- **Bain d'eau glacée (béchers)** : chaque prélèvement est brutalement refroidi et dilué dans l'eau distillée froide. L'estérification y est stoppée : c'est une trempe. La composition dosée est celle du mélange à la date du prélèvement, même si le titrage prend du temps.

Le froid bloque la réaction : avant $t = 0$ dans le ballon, puis dans chaque prélèvement pendant son titrage.

COMPRENDRE
La dilution dans les 30 mL d'eau agit dans le même sens que le froid : la concentration des réactifs est aussi un facteur cinétique.

2.3 À partir du mélange initial, déterminer la quantité maximale d'ester que l'on pourrait obtenir si la réaction était totale.

Données utiles acide : $V_1 = 28$ mL, $\rho_1 = 1{,}05$ g · mL^{-1}, $M_1 = 60$ g · mol^{-1} ; alcool : $V_2 = 44{,}8$ mL, $\rho_2 = 0{,}81$ g · mL^{-1}, $M_2 = 74$ g · mol^{-1}

Pour un liquide pur : $m = \rho V$ et $n = \dfrac{m}{M}$, donc $n = \dfrac{\rho V}{M}$.

Acide éthanoïque : $n_1 = \dfrac{\rho_1 V_1}{M_1} = \dfrac{1{,}05 \times 28}{60} = 0{,}49$ mol

Butan-1-ol : $n_2 = \dfrac{\rho_2 V_2}{M_2} = \dfrac{0{,}81 \times 44{,}8}{74} = 0{,}49$ mol

L'équation indique qu'une mole d'acide réagit avec une mole d'alcool : le mélange initial est stœchiométrique, les deux réactifs seraient entièrement consommés en même temps.

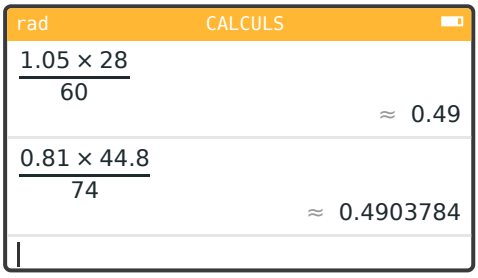
Une mole d'acide consommée donne une mole d'ester, donc $n_{\max} = x_{\max} = n_1 = n_2$.

$\boxed{n_{\max}(\text{ester}) = 0{,}49 \text{ mol}}$

PIÈGE
Calculer une seule quantité de matière et conclure. Il faut les deux pour identifier le réactif limitant, ou constater comme ici que le mélange est stœchiométrique.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V_1, ρ_2 et les masses molaires. Sur le graphique, aucune courbe ne dépasse 0,41 mol : l'estérification n'est pas totale, c'est une transformation limitée.

À LA CALCULATRICE



2.4 Expliquer brièvement pourquoi l'acide éthanoïque peut être dosé par la soude, et pourquoi ce titrage donne accès à la quantité d'ester formée.

Première affirmation. L'ion hydroxyde HO^- est une base : il réagit avec l'acide éthanoïque selon une réaction acido-basique rapide et totale, donc utilisable pour un titrage :

$$\text{CH}_3\text{COOH}\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

L'acide éthanoïque est la seule espèce dosée : l'alcool et l'ester n'ont pas de caractère acide, et l'acide sulfurique est en quantité négligeable. Le virage de la phénolphtaléine repère l'équivalence, où $n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} = n(\text{acide})_{\text{restant}}$ dans le prélèvement.

Seconde affirmation. D'après l'équation de l'estérification, la formation d'une mole d'ester consomme une mole d'acide. Connaissant la quantité initiale d'acide n_1 et la quantité restante donnée par le titrage :

$$n(\text{ester})_{\text{formé}} = n_1 - n(\text{acide})_{\text{restant}}$$

Le titrage donne l'acide restant ; la quantité d'ester formée est égale à la quantité d'acide disparue, $n_1 - n(\text{acide})_{\text{restant}}$.

PIÈGE
Oublier que le titrage porte sur un prélèvement de 5 mL. Pour revenir au ballon, la quantité d'acide dosée doit être rapportée au volume total du mélange réactionnel.

2.5 À la lecture du graphique, quels arguments justifient que la température et un catalyseur influencent l'évolution temporelle de la réaction, et que l'excès d'un réactif permet d'obtenir davantage d'ester ?

On compare à chaque fois deux variantes qui ne diffèrent que par un seul paramètre.

- **Température** : variantes 1 et 3 (sans acide sulfurique, 20 °C puis 50 °C). À une même date, la quantité d'ester formée est nettement plus grande à 50 °C : environ 0,22 mol contre moins de 0,04 mol à 90 min. La réaction est plus rapide à chaud. Les variantes 2 et 4 conduisent à la même conclusion.
- **Catalyseur** : variantes 1 et 2 (20 °C, sans puis avec acide sulfurique). À 90 min, environ 0,30 mol d'ester avec l'acide sulfurique contre moins de 0,04 mol sans. La réaction est plus rapide en présence du catalyseur. Les variantes 3 et 4 le confirment.
- **Excès d'un réactif** : variantes 4 et 5 (50 °C, avec acide sulfurique). Les deux courbes atteignent un palier : environ 0,33 mol pour le mélange stœchiométrique, environ 0,41 mol avec l'excès de butan-1-ol. La quantité finale d'ester est plus grande.

Température : courbes 1 et 3 ; catalyseur : courbes 1 et 2 ; excès d'alcool : paliers des courbes 4 et 5 (0,41 mol contre 0,33 mol).

COMPRENDRE
Température et catalyseur modifient la vitesse, pas l'état final. Seul l'excès d'un réactif déplace le palier ; il reste inférieur à 0,49 mol.

MÉTHODE
Pour isoler l'effet d'un paramètre, choisir deux expériences où lui seul change. Comparer les variantes 1 et 4, par exemple, ne prouve rien : la température et le catalyseur varient ensemble.

3 En analysant l'environnement chimique de chaque groupe de protons équivalents de l'éthanoate de butyle, indiquer la multiplicité des signaux des atomes d'hydrogène portés par les différents atomes de carbone.

Règle des $(n+1)$-uplets : un groupe de protons équivalents ayant n protons voisins, portés par les atomes de carbone adjacents, donne un signal à $n+1$ pics.

- Carbone 1 (CH_3) : le carbone voisin est celui du groupe ester, sans hydrogène ; $n=0$: **singulet**.
- Carbone 2 (CH_2) : voisin de l'oxygène et du carbone 3 (2 H) ; $n=2$: **triplet**.
- Carbone 3 (CH_2) : voisin des carbones 2 et 4 ; $n=2+2=4$: **quintuplet**.
- Carbone 4 (CH_2) : voisin des carbones 3 et 5 ; $n=2+3=5$: **sextuplet**.
- Carbone 5 (CH_3) : voisin du carbone 4 (2 H) ; $n=2$: **triplet**.

Carbone 1 : singulet ; carbone 2 : triplet ; carbone 3 : quintuplet ; carbone 4 : sextuplet ; carbone 5 : triplet.

PIÈGE
Compter les protons du groupe lui-même. La multiplicité dépend seulement des protons portés par les carbones voisins ; le nombre de protons du groupe fixe l'aire du signal (l'intégration).

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN ne figure plus au programme actuel de la spécialité de Terminale. Cette question se traite dans le cadre de l'ancien programme.

Le génie des physiciens et des chimistes au service de la mesure du temps

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

1.1 Par une analyse dimensionnelle, choisir l'expression de la période propre, puis comparer la période du pendule de Galilée à celle du pendule réalisé et conclure.

Données utiles 1 coudée $= 0{,}573$ m ; fil de 4 coudées ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; document 3, fenêtre 1

Choix de l'expression. Une accélération est une longueur divisée par le carré d'une durée : $[g] = \text{L}\cdot\text{T}^{-2}$. Donc

$$\left[\sqrt{\frac{\ell}{g}}\right] = \left(\frac{\text{L}}{\text{L}\cdot\text{T}^{-2}}\right)^{1/2} = \text{T}$$

Les trois autres propositions ont pour dimensions $\text{L}^{1/2}$, T^{-1} et $\text{M}^{1/2}\cdot\text{L}^{-1/2}$: elles ne donnent pas une durée. On retient $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$.

Pendule de Galilée. $\ell = 4\times 0{,}573 = 2{,}292$ m, d'où

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{2{,}292}{9{,}81}} = 3{,}04\ \text{s}$$

Pendule réalisé. Sur la fenêtre 1, six pseudo-périodes séparent le premier maximum ($t \approx 1{,}0$ s) du septième ($t \approx 19{,}2$ s) :

$$T = \frac{19{,}2 - 1{,}0}{6} = 3{,}03\ \text{s} \approx 3{,}0\ \text{s}$$

L'amplitude reste égale à 400 mm : l'amortissement est faible, donc $T \approx T_0$.

Conclusion. Les deux périodes coïncident à la précision de la lecture graphique, et la masse (50 g de plomb) est la même. D'après Galilée lui-même, la masse n'influe d'ailleurs pas sur la période.

$T_0 = 3{,}04$ s et $T \approx 3{,}0$ s : le pendule réalisé a la longueur de celui de Galilée, il aurait pu être le sien.

PIÈGE
La masse ne figure pas dans la période d'un pendule simple : la proposition avec m est à écarter, et le texte de Galilée le confirme (plomb et liège oscillent au même rythme).

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs pour T_0, comme g et la coudée. La lecture graphique, elle, ne garantit guère mieux que le dixième de seconde.

MÉTHODE
Pour lire une période « de la manière la plus précise », mesurer la durée du plus grand nombre possible de périodes puis diviser : l'erreur de lecture est divisée d'autant.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2 \times \pi \times \sqrt{\dfrac{4\times 0.573}{9.81}} \approx 3.037055$

$\dfrac{19.2 - 1.0}{6} \approx 3.033333$

1.2.1 Déterminer sur le document 3 (fenêtre 1) la valeur de l'abscisse x_m, puis en déduire l'angle maximal α_m en degré.

Données utiles $\ell = 2{,}292$ m (1.1)

Sur la fenêtre 1, x oscille entre -400 mm et $+400$ mm : $x_m = 400\ \text{mm} = 0{,}400$ m.

Dans le triangle rectangle d'hypoténuse $OG = \ell$, le côté opposé à α_m est x_m :

$$\sin\alpha_m = \frac{x_m}{\ell} \qquad \alpha_m = \arcsin\left(\frac{0{,}400}{2{,}292}\right)$$

$x_m = 400$ mm et $\alpha_m = 10{,}1°$

PIÈGE
Convertir x_m en mètre avant de diviser par ℓ, et vérifier que la calculatrice est en mode degré.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{\arcsin\left(\dfrac{0.400}{2.292}\right)\times 180}{\pi} \approx 10.05073$

1.2.2 Calculer la vitesse maximale v_m atteinte par le centre d'inertie G.

Données utiles $m = 50$ g ; document 3, fenêtre 2 : $E_{c,\max} = 17{,}2$ mJ

La vitesse est maximale quand l'énergie cinétique l'est, au passage par la position d'équilibre ($x = 0$). On lit sur la fenêtre 2 : $E_{c,\max} = 17{,}2$ mJ (sommet juste sous la graduation 17,5).

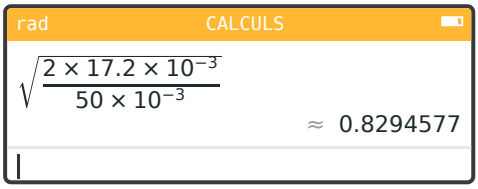
$$E_{c,\max} = \frac{1}{2} m v_m^2 \quad \text{donc} \quad v_m = \sqrt{\frac{2\,E_{c,\max}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 17{,}2 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-3}}}$$

$$v_m = 0{,}83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

PIÈGE
Énergie en joule et masse en kilogramme : laisser 17,2 mJ et 50 g tels quels fausse le résultat.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse. On retrouve la même énergie par $m\,g\,\ell\,(1 - \cos\alpha_m)$: les deux fenêtres sont cohérentes.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 Tracer sur le document 3 (fenêtre 2) les évolutions de l'énergie mécanique et de l'énergie potentielle de pesanteur en fonction de l'abscisse x.

Données utiles $E_{c,\max} = 17{,}2$ mJ (1.2.2) ; $x_m = 400$ mm (1.2.1)

L'amortissement est négligeable (amplitude constante sur la fenêtre 1) : l'énergie mécanique $E_m = E_c + E_p$ se conserve.

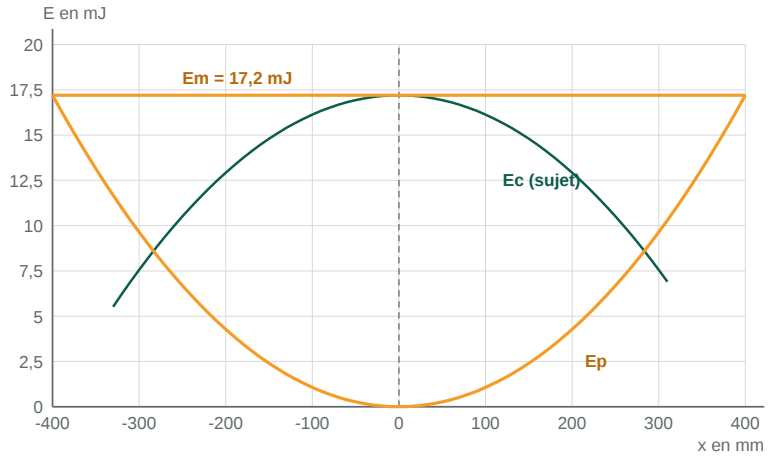
En $x = 0$, G est en G_0, origine des altitudes : $E_p = m\,g\,z = 0$, donc $E_m = E_{c,\max} = 17{,}2$ mJ. La courbe de E_m est un segment horizontal.

L'énergie potentielle s'en déduit point par point : $E_p = E_m - E_c$. Elle est nulle en $x = 0$ et vaut 17,2 mJ en $x = \pm 400$ mm, où la vitesse s'annule. Sa courbe est la symétrique de celle de E_c par rapport à l'horizontale $\frac{E_m}{2} = 8{,}6$ mJ.

$E_m = 17{,}2$ mJ (droite horizontale) et $E_p = E_m - E_c$ (courbe en cuvette, nulle en $x = 0$)

PIÈGE
Les courbes de E_m et E_p se prolongent jusqu'à $x = \pm 400$ mm, même si la courbe de E_c fournie s'arrête avant.

MÉTHODE
Pour tracer E_p, reporter quelques points : en $x = \pm 200$ mm, $E_c \approx 13$ mJ donc $E_p \approx 4$ mJ ; en $x = \pm 300$ mm, $E_c \approx 7{,}5$ mJ donc $E_p \approx 9{,}7$ mJ.



1.2.3 · Document 3, fenêtre 2 complétée : E_m et E_p tracées en orange

2.1 Quelle est la période de retournement de la molécule d'ammoniac ?

Données utiles 24 milliards d'allers-retours par seconde

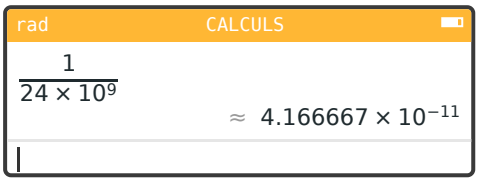
Le nombre d'allers-retours par seconde est la fréquence : $f = 24 \times 10^9$ Hz.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{24 \times 10^9}$$

$T = 4{,}2 \times 10^{-11}$ s, soit 42 ps

PIÈGE
Un milliard vaut 10^9, pas 10^6.

À LA CALCULATRICE



2.2 Écrire la formule de Lewis de la molécule d'ammoniac et proposer une représentation de Cram de la molécule.

Données utiles N ($Z = 7$) ; H ($Z = 1$)

Azote : $Z = 7$, configuration $1s^2\,2s^2\,2p^3$ (soit $(K)^2(L)^5$), donc 5 électrons de valence. Il lui en manque 3 pour atteindre l'octet : il forme 3 liaisons covalentes et garde 1 doublet non liant.

Hydrogène : $Z = 1$, 1 électron de valence, il forme 1 liaison (règle du duet).

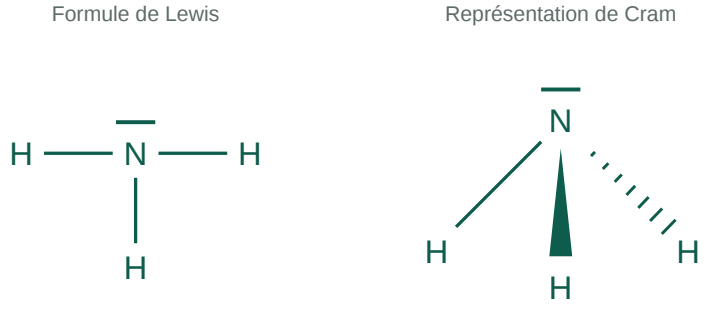
Vérification : $5 + 3 \times 1 = 8$ électrons de valence, soit 4 doublets : 3 liants et 1 non liant.

Les quatre doublets autour de l'azote se repoussent et s'orientent vers les sommets d'un tétraèdre : la molécule est pyramidale, l'azote au sommet, comme le parapluie du texte.

NH_3 : trois liaisons $N-H$ et un doublet non liant sur N ; géométrie pyramidale à base triangulaire.

PIÈGE
Oublier le doublet non liant de l'azote : c'est lui qui rend la molécule pyramidale et non plane, et qui explique son caractère basique.

COMPRENDRE
La représentation de Cram n'est plus exigible dans le programme actuel de spécialité ; le schéma de Lewis et la géométrie pyramidale de NH_3, eux, restent à connaître.



2.2 · Ammoniac : formule de Lewis et représentation de Cram (pyramide à base triangulaire)

2.3 Recopier l'équation $NH_3 + H^+ \rightleftharpoons NH_4^+$ et expliquer la formation de l'ion ammonium.

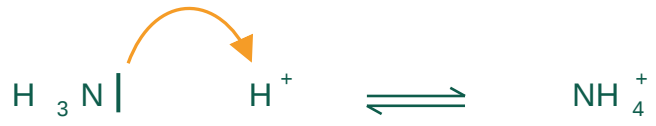
$$NH_3 + H^+ \rightleftharpoons NH_4^+$$

L'atome d'azote de l'ammoniac porte un doublet non liant : c'est un site donneur de doublet d'électrons. L'ion H^+ n'a aucun électron et porte une charge positive : c'est un site accepteur.

Le doublet non liant de l'azote est mis en commun avec H^+ : une quatrième liaison covalente $N-H$ se forme. On le représente par une flèche courbe partant du doublet et pointant vers H^+.

NH_3 capte un ion H^+ grâce au doublet non liant de l'azote : c'est une base de Brønsted, et NH_4^+ est son acide conjugué.

PIÈGE
La flèche courbe représente le déplacement d'un doublet d'électrons : elle part du doublet de N (site donneur) et arrive sur H^+, jamais l'inverse.



2.3 · Le doublet non liant de l'azote attaque l'ion H^+

2.4 Parmi quatre propositions sur l'ion ammonium, une seule est vraie : justifier que les trois autres sont fausses.

Données utiles $K_A(NH_4^+/NH_3) = 5{,}6 \times 10^{-10}$ à 25 °C

Proposition 1 : fausse. $pK_A = -\log K_A = -\log(5{,}6 \times 10^{-10}) = 9{,}3$, et non 10,2.

Proposition 2 : vraie. L'acide NH_4^+ cède un ion H^+ à l'eau, base du couple H_3O^+/H_2O : $NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$.

Proposition 3 : fausse. La constante de cette réaction est $K_A = 5{,}6 \times 10^{-10}$, très inférieure à 1 : la transformation est très limitée. NH_4^+ est un acide faible, très peu dissocié dans l'eau, d'où la double flèche.

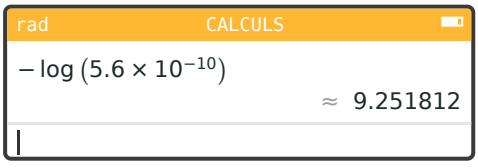
Proposition 4 : fausse. À $pH = 8$, on a $pH < pK_A = 9{,}3$: c'est la forme acide NH_4^+ qui prédomine, et non NH_3.

Seule la proposition 2 est vraie ; $pK_A = 9{,}3$; acide faible ; NH_4^+ prédomine à $pH = 8$.

COMPRENDRE
De $pH = pK_A + \log\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$ on tire, à $pH = 8$, un rapport $10^{-1,3} \approx 0{,}05$: il y a environ vingt fois plus de NH_4^+ que de NH_3.

MÉTHODE
Diagramme de prédominance : pour $pH < pK_A$ l'acide prédomine, pour $pH > pK_A$ c'est la base. Tracer l'axe des pH avec la frontière à 9,3 évite toute inversion.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : "ça farte!"

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

1.1 Représenter sur l'annexe les forces extérieures appliquées au centre d'inertie G du système, le mouvement étant rectiligne uniformément accéléré (action de l'air négligée).

Système : le ski, étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

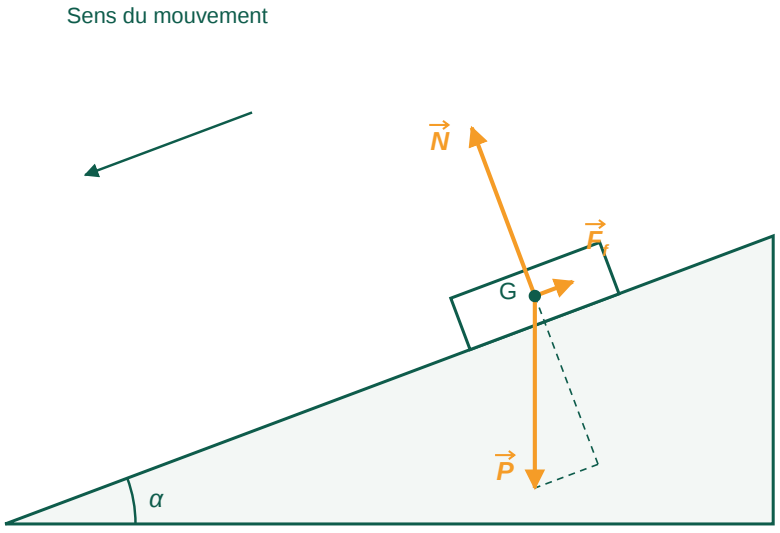
Trois forces s'appliquent en G :

- le poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la réaction normale $\vec{N}$ de la neige, perpendiculaire à la pente, vers le haut ;
- la force de frottement $\vec{F}_f$, parallèle à la pente, opposée au sens du mouvement.

Longueurs relatives : $N < P$ et F_f nettement plus courte que P (voir l'annexe complétée).

PIÈGE
Tracer $\vec{N}$ verticale ou $\vec{P}$ perpendiculaire à la pente. Le poids reste vertical, la réaction normale reste perpendiculaire au support.

MÉTHODE
Tracer $\vec{P}$ en premier, puis le projeter sur la pente et sur sa perpendiculaire : les deux composantes donnent la longueur de $\vec{N}$ et la limite à ne pas dépasser pour $\vec{F}_f$.



1.1 · Annexe complétée : forces appliquées en G (en pointillés, les composantes du poids)

1.2 Rédiger une légende explicative du schéma proposé.

Deuxième loi de Newton, la masse m du système étant constante :

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_f = m\,\vec{a}_G$$

Le mouvement est rectiligne et accéléré : $\vec{a}_G$ est parallèle à la pente, dans le sens du mouvement.

- Perpendiculairement à la pente, l'accélération est nulle : $N = P\cos\alpha$, donc $\vec{N}$ est plus courte que $\vec{P}$.
- Le long de la pente : $P\sin\alpha - F_f = m\,a_G > 0$, donc $F_f < P\sin\alpha$.

La somme des trois vecteurs est parallèle à la pente et dirigée vers le bas : $N = P\cos\alpha$ et $F_f < P\sin\alpha$.

PIÈGE
Se contenter de nommer les forces. Le sujet insiste sur la longueur relative des vecteurs : la légende doit la justifier.

COMPRENDRE
Avec $F_f = P\sin\alpha$, la somme des forces serait nulle et le mouvement rectiligne uniforme (principe d'inertie). C'est l'accélération qui impose une force de frottement plus courte.

2 Décrire en quelques lignes les transferts d'énergie mis en jeu dans la situation de la question 1.

Le ski descend : son altitude diminue, donc son énergie potentielle de pesanteur diminue.

Sa vitesse augmente (mouvement accéléré) : une partie de cette énergie est convertie en énergie cinétique.

L'autre partie est dissipée par le travail de la force de frottement, sous forme de chaleur (document 1). Ce transfert thermique fait fondre la neige au contact : une pellicule d'eau se forme sous le ski.

L'énergie potentielle de pesanteur est convertie en énergie cinétique et en chaleur ; l'énergie mécanique du ski diminue.

COMPRENDRE
Sans frottement, l'énergie mécanique se conserverait. Ici elle diminue d'une quantité égale au travail, négatif, de la force de frottement.

3 Expliquer pourquoi les fluorocarbures sont particulièrement intéressants pour le fartage.

Les fluorocarbures sont fortement hydrophobes (document 2) : ils n'ont pas d'affinité pour l'eau.

Pendant la glisse, de l'eau liquide se forme entre le ski et la neige. Sous une semelle non fartée, cette eau s'étale (schéma 1). Sous une semelle hydrophobe, elle se rassemble en gouttes presque sphériques, avec un angle θ plus grand (schéma 2).

La surface de contact entre l'eau et la semelle est alors beaucoup plus petite : l'eau accroche moins le ski.

Le fart fluoré réduit le contact eau-semelle, donc les frottements : le ski glisse mieux.

COMPRENDRE
L'étude du mouillage d'une surface (angle de contact, tension superficielle) n'est plus au programme actuel de spécialité. Les documents suffisent ici pour répondre.

MÉTHODE
Question documentaire : citer chaque document utilisé (propriété hydrophobe au document 2, forme des gouttes au document 3), puis relier l'observation à la conséquence sur la glisse.

4.1 En quoi les hydrocarbures solides à longue chaîne carbonée C_nH_{2n+2} ($n \geq 18$) sont-ils également intéressants pour le fartage ?

Données utiles électronégativités : H : 2,1 ; C : 2,6

Ces molécules ne contiennent que des liaisons $C-C$, non polarisées, et des liaisons $C-H$.

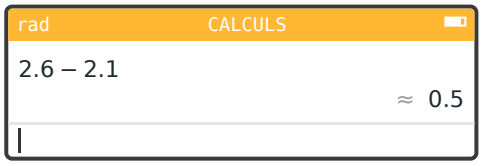
Différence d'électronégativité pour $C-H$: $2{,}6 - 2{,}1 = 0{,}5$. Elle est faible : la liaison $C-H$ est très peu polarisée.

Les molécules d'hydrocarbure sont donc apolaires. L'eau étant un solvant polaire, elles n'ont pas d'affinité pour elle.

Ces hydrocarbures sont eux aussi hydrophobes ; de plus, ils coûtent moins cher que les fluorocarbures (document 2).

COMPRENDRE
« Qui se ressemble s'assemble » : les espèces polaires se mélangent bien à l'eau, les espèces apolaires non. C'est pourquoi la paraffine ne se dissout pas dans l'eau.

À LA CALCULATRICE



4.2.1 Mettre en évidence le caractère polaire d'une liaison $C-F$.

Données utiles électronégativités : C : 2,6 ; F : 4,0

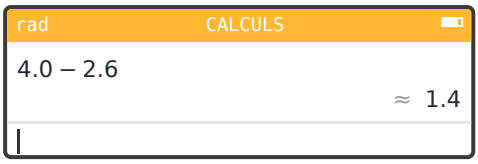
Différence d'électronégativité : $4{,}0 - 2{,}6 = 1{,}4$. Elle est importante.

Le fluor, bien plus électronégatif que le carbone, attire vers lui le doublet de la liaison. Il porte une charge partielle négative δ^- et le carbone une charge partielle positive δ^+.

La liaison $C-F$ est polarisée : $C^{\delta+}-F^{\delta-}$.

PIÈGE
Écrire seulement « le fluor est plus électronégatif ». Il faut la différence chiffrée et les charges partielles placées sur les deux atomes.

À LA CALCULATRICE



4.2.2 Pourquoi les molécules de fluorocarbures sont-elles cependant hydrophobes ?

Une molécule peut contenir des liaisons polarisées et être apolaire : tout dépend de sa géométrie.

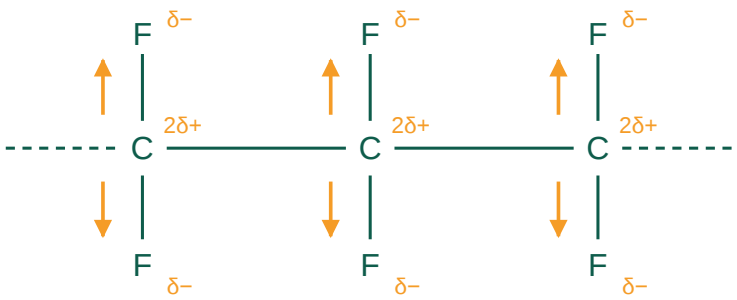
Dans la chaîne $-(CF_2)_n^-$, les atomes de fluor sont répartis de façon symétrique autour de la chaîne carbonée. La polarisation d'une liaison $C-F$ est compensée par celle de la liaison $C-F$ située à l'opposé.

Le centre des charges partielles positives est donc confondu avec celui des charges partielles négatives.

La molécule est globalement apolaire : elle n'a pas d'affinité pour l'eau, elle est hydrophobe.

COMPRENDRE

Même raisonnement que pour CO_2 : deux liaisons $C=O$ polarisées mais opposées, donc une molécule apolaire. À l'inverse, l'eau est coudée et reste polaire.



4.2.2 · Chaîne fluorocarbonée : les polarisations des liaisons C–F (flèches) s'opposent deux à deux