Corrigé complet — Bac S 2020 Polynésie (ancien programme)

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

Ex 1	**Boissons énergétiques ou énergisantes** Formules topologiques et groupes caractéristiques · Chiralité et énantiomérie · Catalyse et temps de demi-réaction · Spectre de RMN du proton · Dosage par étalonnage	9 pts	1 h 35	13 questions	p. 2
Ex 2	**Les accélérateurs montent en puissance** Force électrique et champ uniforme · Deuxième loi de Newton · Équations horaires · Énergie cinétique · Quantité de mouvement · Système isolé	6 pts	1 h 05	10 questions	p. 9
Ex 3	**Détection d'exoplanètes** Diffraction · Pouvoir de résolution · Angles petits · Effet Doppler-Fizeau · Vitesse radiale · Lecture d'un spectre	5 pts	55 min	6 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Une hydrolienne à Ouessant** Chaîne énergétique · Effet Doppler · Puissance et énergie · Rendement · Résolution de problème	5 pts	55 min	3 questions	p. 16

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.

Boissons énergétiques ou énergisantes

Bac S 2020 Polynésie (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

1.1.1 Donner la représentation topologique du glucose et du fructose. Entourer les groupes caractéristiques présents dans chaque molécule et nommer les familles de fonctions associées.

Les deux molécules ont une chaîne de six atomes de carbone (voir les formules ci-dessous).

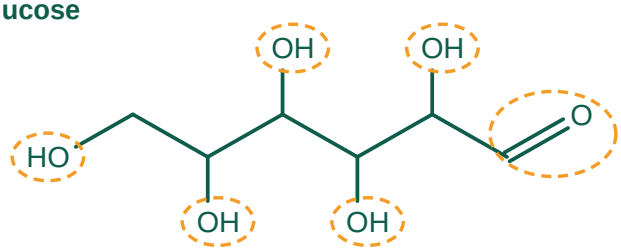
- Glucose : cinq groupes hydroxyle $-\mathrm{OH}$ (famille des alcools) et un groupe carbonyle $\mathrm{C{=}O}$ en bout de chaîne, porté par $-\mathrm{CHO}$ (famille des aldéhydes).
- Fructose : cinq groupes hydroxyle $-\mathrm{OH}$ (famille des alcools) et un groupe carbonyle $\mathrm{C{=}O}$ à l'intérieur de la chaîne (famille des cétones).

Glucose : alcool (5 fois) et aldéhyde. Fructose : alcool (5 fois) et cétone.

PIÈGE
Le même groupe carbonyle donne deux familles : aldéhyde si le carbone porte un H (bout de chaîne), cétone s'il est lié à deux carbones. Nommer seulement « carbonyle » ne répond pas à la question.

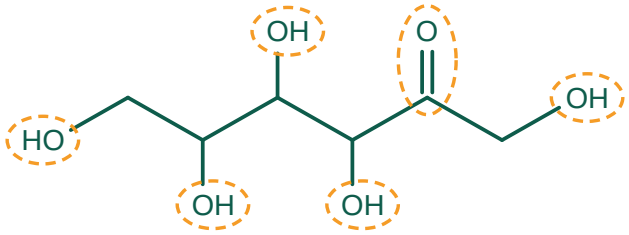
MÉTHODE
En formule topologique, on n'écrit ni les C ni les H liés aux C ; chaque sommet ou extrémité de ligne brisée est un carbone. Les H des groupes $-\mathrm{OH}$ s'écrivent toujours.

Glucose



5 groupes hydroxyle : famille des alcools
1 groupe carbonyle en bout de chaîne : famille des aldéhydes

Fructose



5 groupes hydroxyle : famille des alcools
1 groupe carbonyle dans la chaîne : famille des cétones

1.1.1 · Formules topologiques du glucose et du fructose ; groupes caractéristiques entourés

1.1.2 Le D-glucose est une molécule chirale. Qu'est-ce que cela signifie ? Représenter l'énantiomère du D-glucose.

Une molécule chirale est une molécule qui n'est pas superposable à son image dans un miroir plan.

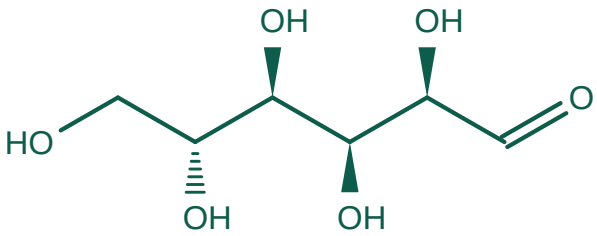
L'énantiomère du D-glucose est cette image dans un miroir. On l'obtient en gardant le même squelette et en inversant la configuration de chacun des quatre atomes de carbone asymétriques : chaque liaison en trait plein (vers l'avant) devient hachurée (vers l'arrière), et inversement.

Chirale : non superposable à son image dans un miroir plan.
Énantiomère : voir la représentation ci-dessous.

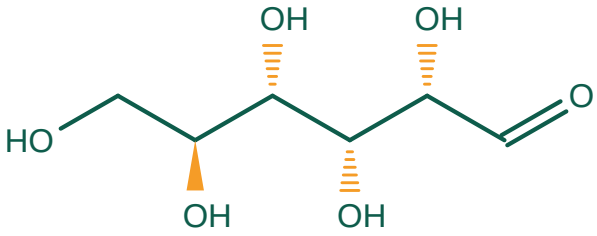
PIÈGE
Il faut inverser les quatre carbones asymétriques. Si l'on n'en inverse qu'une partie, on obtient un diastéréoisomère du D-glucose, pas son énantiomère.

COMPRENDRE
La chiralité et les stéréoisomères (énantiomères, diastéréoisomères) faisaient partie du programme de Terminale S. Ces notions ne sont plus au programme actuel de la spécialité.

D-glucose (sujet)



Énantiomère : liaisons pleines et hachurées échangées



1.1.2 · Le D-glucose et son énantiomère, images l'un de l'autre dans un miroir placé dans le plan de la feuille

1.1.3 Il est possible de transformer du glucose en fructose. S'agit-il d'une modification de chaîne ou d'une modification de groupe caractéristique ? Justifier.

Le glucose et le fructose ont la même chaîne carbonée : six atomes de carbone à la suite, sans ramification.

En revanche, le groupe $-\mathrm{CHO}$ de l'aldéhyde est remplacé par un groupe hydroxyle sur le premier carbone, et un groupe hydroxyle est remplacé par le groupe carbonyle d'une cétone sur le deuxième carbone.

C'est une modification de groupe caractéristique : la chaîne carbonée est conservée, une fonction aldéhyde devient une fonction cétone.

1.2.1 Définir le terme catalyseur.

Un catalyseur est une espèce chimique qui augmente la vitesse d'une réaction sans apparaître dans son équation : il est consommé puis régénéré, et il ne modifie pas l'état final.

COMPRENDRE
C'est pour cela que H^+ est écrit au-dessus de la flèche dans l'équation du sujet, et non parmi les réactifs.

1.2.2 Dans l'expérience en tube à essai, de quel type de catalyse s'agit-il ? Justifier.

Le catalyseur $H^+(aq)$ et les réactifs (saccharose dissous et eau) sont tous dans la même phase, la solution aqueuse.

C'est une catalyse homogène : le catalyseur et les réactifs forment une seule phase.

COMPRENDRE
Trois types : homogène (même phase), hétérogène (phases différentes, par exemple un solide dans une solution), enzymatique (le catalyseur est une enzyme, comme l'hydrolase dans l'organisme). Le programme actuel insiste moins sur ce classement.

1.2.3 Déterminer, sur le graphe de l'annexe, la valeur du temps de demi-réaction de cette hydrolyse.

Données utiles $c_s = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 40\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; réaction totale

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale.

La réaction est totale et l'eau est en excès : tout le saccharose est consommé. Une mole de saccharose donne une mole de glucose, donc $[\text{glucose}]_f = c_s = 40\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

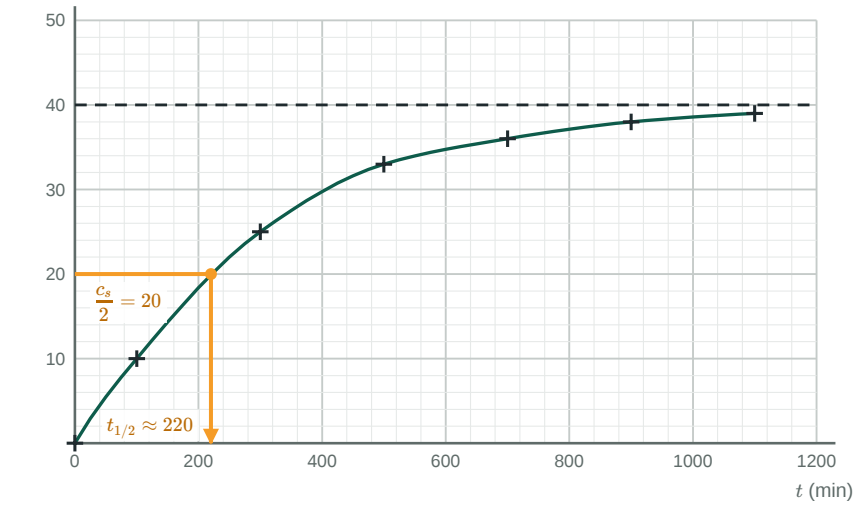
À $t_{1/2}$: $[\text{glucose}] = \dfrac{c_s}{2} = 20\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

On trace une courbe régulière passant par les points, puis on lit l'abscisse du point d'ordonnée 20 mmol/L.

$t_{1/2} \approx 220$ min (soit environ 3 h 40 min)

PIÈGE
Ne pas prendre la moitié de la dernière valeur mesurée (39 mmol/L) ni la moitié de la durée de l'expérience. La référence est la concentration finale, ici c_s.

COMPRENDRE
Aucun point de mesure n'a pour ordonnée 20 : la valeur dépend de la courbe tracée entre 100 min et 300 min. Toute lecture entre 200 min et 240 min environ est acceptable.



1.2.3 · Annexe complétée : lecture du temps de demi-réaction

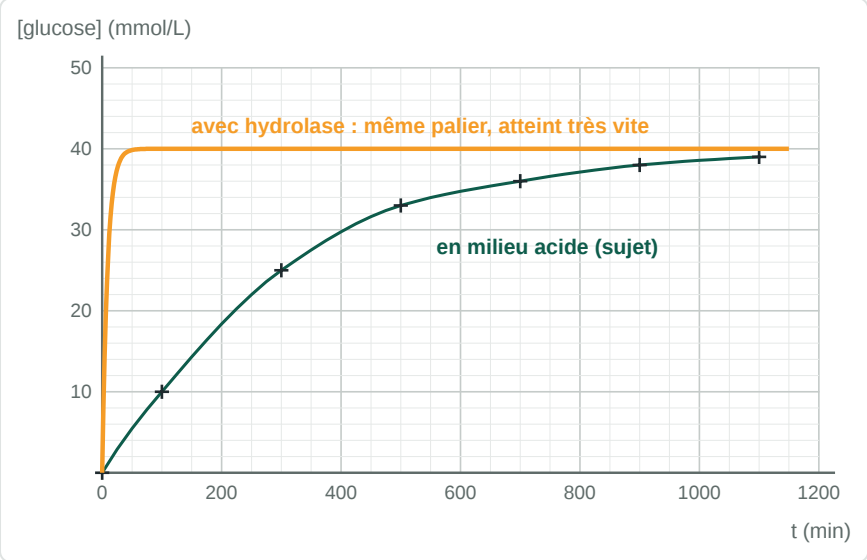
1.2.4 Tracer, sur le graphe de l'annexe, l'allure d'une courbe correspondant à l'hydrolyse de la même solution de saccharose en présence d'hydrolase. Justifier.

Avec l'hydrolase, la transformation se fait « en quelques minutes » : la vitesse de réaction est bien plus grande qu'en catalyse acide. La courbe part de l'origine et monte beaucoup plus vite ; à l'échelle du graphe, elle est presque verticale au départ.

La solution de saccharose est la même et un catalyseur ne modifie pas l'état final : la courbe atteint le même palier, $[\text{glucose}]_f = c_s = 40\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Courbe partant de l'origine, située au-dessus de la courbe initiale, qui atteint très vite le même palier à 40 mmol/L.

PIÈGE
Tracer un palier plus haut que 40 mmol/L. Un catalyseur plus efficace fait gagner du temps, il ne fait pas gagner de produit.



1.2.4 · Annexe complétée : allure de la courbe en présence d'hydrolase (en orange)

1.2.5 Les résultats expérimentaux permettent-ils de confirmer que la réaction d'hydrolyse du saccharose en milieu acide est totale ?

Données utiles $c_s = 40\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; dernier point du graphe : 39 mmol/L à 1100 min

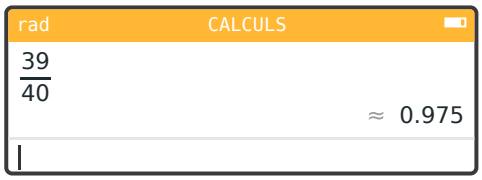
Si la réaction est totale, la concentration finale en glucose vaut $c_s = 40\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (question 1.2.3).

Sur le graphe, la concentration en glucose augmente de plus en plus lentement et se rapproche de cette valeur : elle vaut environ 39 mmol/L à $t = 1100$ min, soit $\frac{39}{40} \approx 98\ \%$ de la valeur maximale, et elle augmente encore.

Oui : la concentration en glucose tend vers $c_s = 40\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, ce qui est en accord avec une réaction totale. Il faudrait prolonger les mesures pour voir le palier atteint.

COMPRENDRE
Une réaction non totale donnerait un palier nettement en dessous de 40 mmol/L. Ici la courbe n'a pas fini de monter : la réaction est lente, pas limitée.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Identifier, parmi les deux molécules représentées, celle qui correspond à la caféine. Justifier à l'aide du spectre de RMN du proton.

Données utiles spectre : quatre singulets, à 7,9 ppm, 4,0 ppm, 3,4 ppm et 3,2 ppm

Le spectre comporte quatre signaux : la molécule possède quatre groupes de protons équivalents. Ce sont tous des singulets : aucun de ces protons n'a de proton voisin (porté par un carbone voisin).

Molécule 2 : trois groupes $-\text{CH}_3$ liés chacun à un atome d'azote différent, et un proton sur le carbone du cycle à cinq atomes, entre deux atomes d'azote. Cela fait quatre groupes de protons équivalents, tous sans voisin : quatre singulets. De plus, sur le spectre, trois signaux sont intenses (3 H chacun) et un signal est faible (1 H).

Molécule 1 : les quatre protons du cycle benzénique forment deux groupes de deux protons, chacun voisin d'un proton de l'autre groupe : le spectre comporterait des doublets. Il y aurait aussi cinq signaux (avec CH_3, NH et OH) au lieu de quatre.

La caféine est la molécule 2.

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN du proton était au programme de Terminale S. Elle n'est plus au programme actuel de la spécialité, qui garde les spectroscopies infrarouge et UV-visible.

MÉTHODE
Trois informations dans un spectre de RMN : le nombre de signaux (groupes de protons équivalents), la multiplicité (n voisins donnent $n+1$ pics) et la hauteur de la courbe d'intégration, ici remplacée par l'intensité des pics.

2.1.2 Sans spectromètre de RMN, comment vérifier expérimentalement que la poudre obtenue est bien de la caféine pure ? Quelle observation permettrait de conclure à la présence de caféine ?

On peut réaliser une chromatographie sur couche mince (CCM) : sur la même plaque, on dépose la poudre extraite, dissoute dans un peu de solvant, et de la caféine pure du commerce, dissoute de la même façon. Après élution, on révèle la plaque (sous une lampe à ultraviolets, la caféine étant incolore).

- Présence de caféine : le dépôt de la poudre donne une tache à la même hauteur que celle de la caféine du commerce.
- Pureté : le dépôt de la poudre ne donne que cette seule tache.

Autre possibilité : mesurer la température de fusion de la poudre sur un banc Kofler et la comparer à celle de la caféine, lue dans une table.

CCM avec un témoin de caféine pure : une tache unique, à la même hauteur que le témoin.

COMPRENDRE
Au banc Kofler, une impureté abaisse la température de fusion : une valeur égale à celle de la table indique à la fois la nature et la pureté du solide.

2.2.1 Donner les quatre étapes principales de la démarche expérimentale permettant d'obtenir la courbe d'étalonnage à partir de la caféine commerciale en poudre.

- Étape 1 : préparer une solution mère de concentration massique connue, en dissolvant une masse de caféine pesée avec précision dans une fiole jaugée complétée à l'eau distillée.
- Étape 2 : préparer par dilution de la solution mère (pipette jaugée, fiole jaugée) une série de solutions filles de concentrations connues, ici de 5 mg/L à 30 mg/L.
- Étape 3 : régler le spectrophotomètre sur la longueur d'onde choisie, faire le blanc avec le solvant, puis mesurer l'absorbance de chaque solution fille.
- Étape 4 : placer les points $(c_m\ ;\ A)$ sur un graphique et tracer la droite passant par l'origine qui les modélise.

Dissolution (solution mère), dilutions (solutions filles), mesures d'absorbance, tracé de $A = f(c_m)$.

2.2.2 Le spectrophotomètre n'émet que des radiations de longueurs d'onde comprises entre 230 nm et 650 nm. a) Déterminer une valeur possible de longueur d'onde pour la radiation utilisée lors du dosage. Justifier. b) Le caractère coloré du café étudié est-il gênant pour ce dosage ?

a) On se place à un maximum d'absorption de la caféine, pour que l'absorbance soit la plus grande possible et la mesure la plus précise. Le spectre présente deux maximums : vers 205 nm, hors du domaine de l'appareil, et vers 270 nm, dans le domaine 230 nm – 650 nm.

b) Une espèce colorée absorbe dans le visible, entre 400 nm et 800 nm. La mesure est faite à 270 nm, dans l'ultraviolet, et la caféine n'absorbe pas au-delà de 300 nm : la couleur du café ne gêne pas en elle-même. Cela suppose que les espèces colorées du café n'absorbent pas aussi à 270 nm ; sinon l'absorbance mesurée serait trop grande.

a) $\lambda \approx 270\ \text{nm}$ (maximum d'absorption accessible). b) Non : la mesure se fait dans l'ultraviolet, pas dans le visible.

PIÈGE
Choisir le maximum le plus haut du spectre (vers 205 nm) sans regarder le domaine de l'appareil, qui commence à 230 nm.

2.2.3 Évaluer le nombre de tasses de café qui apporteraient la même quantité de caféine que celle présente dans une canette de 250 mL de boisson énergisante. Donner un avis critique sur le résultat obtenu.

Données utiles $A = 0{,}68$ pour le café dilué 20 fois ; tasse : $V = 75\ \text{mL}$; canette : 80 mg de caféine ; dose maximale pour un adulte : 200 mg à 400 mg par jour

Concentration de la solution diluée : sur la courbe d'étalonnage, pour $A = 0{,}68$, on lit $c_m \approx 21\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Vérification : la droite passe par l'origine et par le point $(30\ ;\ 0{,}96)$, donc $A = k\,c_m$ avec $k = \dfrac{0{,}96}{30} = 0{,}032\ \text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$, et $c_m = \dfrac{0{,}68}{0{,}032} = 21\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Concentration dans le café (dilué 20 fois) : $c_{\text{café}} = 20 \times c_m = 20 \times 21{,}25 = 4{,}3 \times 10^2\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Masse de caféine dans une tasse : $m = c_{\text{café}} \times V = 425 \times 75 \times 10^{-3} = 32\ \text{mg}$.

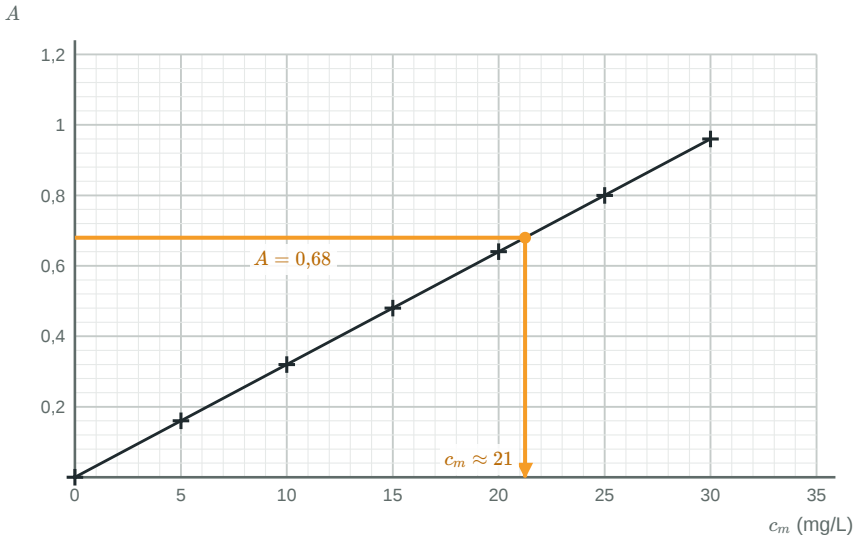
Nombre de tasses pour 80 mg : $N = \dfrac{80}{32} = 2{,}5$.

Avis critique : une canette apporte autant de caféine que deux à trois petites tasses de ce café, ce qui reste en dessous de la dose maximale conseillée. Mais cette dose (200 mg à 400 mg) est atteinte avec 2,5 à 5 canettes par jour, soit environ 6 à 12 tasses. Le résultat n'est qu'un ordre de grandeur : il repose sur une seule mesure, et la teneur en caféine dépend du café et de sa préparation.

$m \approx 32\ \text{mg}$ par tasse : une canette équivaut à environ 2,5 tasses de café.

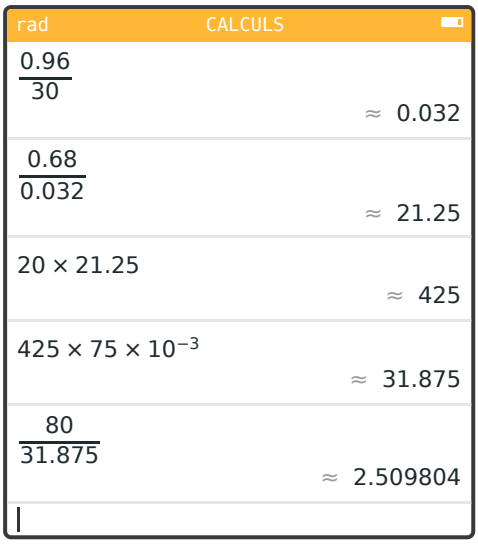
PIÈGE
Oublier la dilution : 21 mg/L est la concentration de la solution diluée, pas celle du café. Penser aussi à convertir 75 mL en litres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $A = 0{,}68$ et les 80 mg. On garde les valeurs non arrondies (21,25 puis 425) dans les calculs intermédiaires et on arrondit seulement le résultat.



2.2.3 · Courbe d'étalonnage du sujet, avec la lecture pour $A = 0{,}68$

À LA CALCULATRICE



Les accélérateurs montent en puissance

Bac S 2020 Polynésie (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 05**

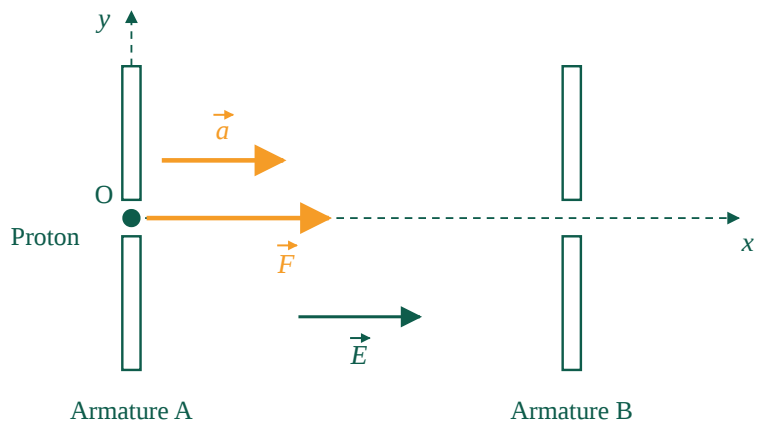
1.1 Représenter sur l'annexe, sans souci d'échelle, la force électrique $\vec{F}$ appliquée au proton et son vecteur accélération $\vec{a}$. Justifier.

Le proton porte la charge $q = e > 0$: $\vec{F} = e\,\vec{E}$. La force a donc la direction et le sens de $\vec{E}$, de l'armature A vers l'armature B.

Système {proton}, référentiel terrestre supposé galiléen, poids négligé. Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = m_p\,\vec{a}$. Comme $m_p > 0$, $\vec{a}$ a la direction et le sens de $\vec{F}$.

$\vec{F}$ et $\vec{a}$ sont tracés à partir du proton, parallèles à (Ox), dans le sens de $\vec{E}$.

PIÈGE
Tracer les vecteurs sans phrase : « Justifier » demande les deux relations $\vec{F} = e\,\vec{E}$ et $\vec{F} = m_p\,\vec{a}$, avec le signe de la charge.



1.1 · Annexe complétée : la force et l'accélération ont la direction et le sens du champ (l'accélération est décalée vers le haut pour la lisibilité)

1.2.1 Établir l'expression du vecteur accélération dans le repère (O, x, y), puis : a) montrer que $v_x(t) = \dfrac{e\,E}{m_p}\,t + v_0$; b) déterminer $v_y(t)$ et justifier le nom d'« accélérateur linéaire ».

D'après 1.1 : $\vec{a} = \dfrac{e\,\vec{E}}{m_p}$. Le champ $\vec{E}$ est dirigé selon (Ox), donc :

$$a_x = \frac{e\,E}{m_p} \qquad a_y = 0$$

a) $a_x = \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}$, donc par intégration $v_x(t) = \dfrac{e\,E}{m_p}\,t + C_1$. À $t = 0$, $v_x(0) = v_0$, d'où $C_1 = v_0$.

b) $a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = 0$, donc $v_y(t) = C_2$. À $t = 0$, la vitesse est selon (Ox) : $v_y(0) = 0$, d'où $C_2 = 0$.

La vitesse reste parallèle à (Ox) à chaque instant : la trajectoire du proton est rectiligne, ce qui explique le qualificatif « linéaire ».

$v_x(t) = \dfrac{e\,E}{m_p}\,t + v_0$ et $v_y(t) = 0$: la trajectoire est une droite, l'axe (Ox).

MÉTHODE
Pour passer de l'accélération à la vitesse : projeter, intégrer chaque coordonnée, puis fixer la constante avec la vitesse initiale. Une constante oubliée fait disparaître v_0.

1.2.2 Le proton atteint l'armature B à la date t_1. Quelle est alors sa vitesse v_1 ?

Données utiles $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ; $E = 10{,}0\ \text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$; $m_p = 1{,}7 \times 10^{-27}$ kg ; $t_1 = 3{,}7 \times 10^{-7}$ s ; $v_0 = 2{,}0 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Comme $v_y = 0$, la vitesse vaut $v_1 = v_x(t_1) = \dfrac{e\,E}{m_p}\,t_1 + v_0$.

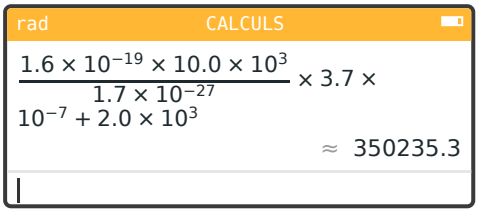
$$v_1 = \frac{1{,}6 \times 10^{-19} \times 10{,}0 \times 10^3}{1{,}7 \times 10^{-27}} \times 3{,}7 \times 10^{-7} + 2{,}0 \times 10^3$$

$$\boxed{v_1 = 3{,}5 \times 10^5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

PIÈGE
Laisser E en $\text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$: il faut $10{,}0 \times 10^3\ \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$, sinon la vitesse est mille fois trop faible.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme e, m_p et t_1, les données les moins précises. On garde $3{,}502 \times 10^5$ en mémoire pour la suite.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 Déterminer l'équation du second degré qui permet d'obtenir t_1. Vérifier qu'elle est cohérente avec la valeur de t_1 donnée.

Données utiles $\ell = 6{,}5$ cm ; $v_x(t)$ (1.2.1)

$v_x = \dfrac{\text{d}x}{\text{d}t}$, donc par intégration $x(t) = \dfrac{1}{2}\,\dfrac{e\,E}{m_p}\,t^2 + v_0\,t + C_3$. À $t = 0$ le proton est en O : $x(0) = 0$, d'où $C_3 = 0$.

Le proton atteint l'armature B quand $x(t_1) = \ell$:

$$\frac{1}{2}\,\frac{e\,E}{m_p}\,t_1^2 + v_0\,t_1 - \ell = 0$$

Avec $\dfrac{e\,E}{m_p} = 9{,}41 \times 10^{11}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ et $\ell = 6{,}5 \times 10^{-2}$ m :

$$4{,}7 \times 10^{11}\,t_1^2 + 2{,}0 \times 10^3\,t_1 - 6{,}5 \times 10^{-2} = 0$$

Discriminant : $\Delta = v_0^2 + 2\,\dfrac{e\,E}{m_p}\,\ell > 0$. La seule racine positive est

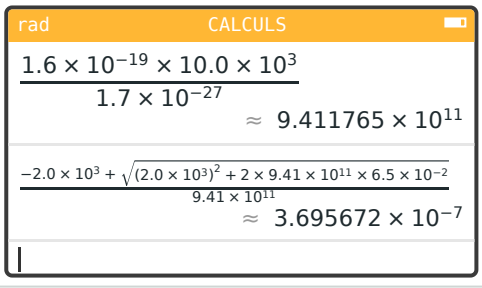
$$t_1 = \frac{-v_0 + \sqrt{\Delta}}{e\,E/m_p}$$

$\boxed{t_1 = 3{,}7 \times 10^{-7}\ \text{s}}$: l'équation redonne bien la valeur de l'énoncé.

PIÈGE
Oublier de convertir ℓ en mètres, ou garder la racine négative : une date d'arrivée est positive.

MÉTHODE
Autre vérification, plus rapide : remplacer t_1 par $3{,}7 \times 10^{-7}$ s dans $x(t)$ et constater que l'on trouve $6{,}5 \times 10^{-2}$ m, soit ℓ.

À LA CALCULATRICE



1.2.4 Calculer l'augmentation d'énergie cinétique du proton entre les armatures A et B. Comparer avec l'énergie attendue dans le LHC. Comment peut-on atteindre la valeur attendue ?

Données utiles $v_1 = 3{,}502 \times 10^5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1.2.2, valeur non arrondie) ; $1\ \text{eV} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ J ; énergie dans le LHC : supérieure à 10^{12} eV

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m_p v_1^2 - \frac{1}{2} m_p v_0^2 = \frac{1}{2} m_p \left(v_1^2 - v_0^2\right)$$

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \times 1{,}7 \times 10^{-27} \times \left[\left(3{,}502 \times 10^5\right)^2 - \left(2{,}0 \times 10^3\right)^2\right]$$

$$\Delta E_c = 1{,}04 \times 10^{-16}\ \text{J} \approx 1{,}0 \times 10^{-16}\ \text{J}$$

En électronvolts : $\Delta E_c = \dfrac{1{,}04 \times 10^{-16}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = 6{,}5 \times 10^2$ eV.

Comparaison : $\dfrac{10^{12}}{6{,}5 \times 10^2} \approx 1{,}5 \times 10^9$. L'énergie gagnée ici est plus d'un milliard de fois inférieure à celle du LHC.

Pour s'en approcher, il faut un champ E beaucoup plus intense, une zone d'accélération plus longue, ou faire traverser au proton un très grand nombre de zones accélératrices successives.

$\Delta E_c = 1{,}0 \times 10^{-16}$ J $= 6{,}5 \times 10^2$ eV, environ 10^9 fois moins que dans le LHC.

PIÈGE
Comparer des joules à des électronvolts. Il faut la même unité des deux côtés avant de calculer le rapport.

COMPRENDRE
Le gain d'énergie est le travail de la force électrique : $e\,E\,\ell = 650$ eV. Il ne dépend que de E et de ℓ : ce sont les deux grandeurs sur lesquelles agir.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 1.7 \times 10^{-27} \times \left(\left(3.502 \times 10^5\right)^2 - \left(2.0 \times 10^3\right)^2\right) \approx 1.042406 \times 10^{-16}$

$\dfrac{1.04 \times 10^{-16}}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 650$

$\dfrac{1 \times 10^{12}}{6.5 \times 10^2} \approx 1.538462 \times 10^9$

1.3.1 Ce dispositif peut-il fonctionner avec un neutron ? Justifier.

Le neutron a une charge nulle : $\vec{F} = q\,\vec{E} = \vec{0}$. Il ne subit aucune force électrique, donc son accélération est nulle et sa vitesse ne change pas.

Non : une particule sans charge n'est pas accélérée par un champ électrique.

1.3.2 Que faudra-t-il modifier si l'on souhaite accélérer un électron ?

L'électron porte la charge $q = -e$: $\vec{F} = -e\,\vec{E}$, la force est de sens opposé au champ. Avec le champ actuel, l'électron entrant en O serait freiné.

Il faut donc inverser le sens de $\vec{E}$, c'est-à-dire permuter les signes des charges portées par les armatures A et B. La force est alors de nouveau dirigée de A vers B.

Inverser le sens du champ $\vec{E}$ en échangeant la polarité des deux armatures.

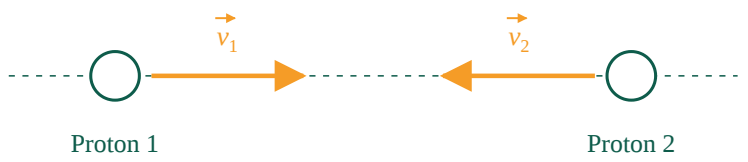
COMPRENDRE
Autre solution : garder le champ et faire entrer l'électron par l'armature B. Il est alors accéléré de B vers A.

2.1 Faire un schéma illustrant la situation avant la collision entre deux protons, en représentant leur vecteur vitesse.

Les deux protons ont la même masse et la même énergie cinétique, donc la même valeur de vitesse : $v_1 = v_2$. Le choc est frontal : ils se déplacent sur une même droite, l'un vers l'autre.

Deux vecteurs vitesse de même direction, de sens opposés et de même longueur : $\vec{v}_2 = -\vec{v}_1$.

PIÈGE
Tracer des flèches de longueurs différentes : la même énergie cinétique pour la même masse impose la même valeur de vitesse.



2.1 · Avant la collision : même direction, sens opposés, même longueur

2.2 Le système est l'ensemble des deux protons, dans le référentiel terrestre. Déterminer le vecteur quantité de mouvement du système avant la collision.

La quantité de mouvement du système est la somme de celles des deux protons :

$$\vec{p}_{\text{avant}} = m_p\,\vec{v}_1 + m_p\,\vec{v}_2$$

Or $\vec{v}_2 = -\vec{v}_1$ (2.1), donc $\vec{p}_{\text{avant}} = m_p\,\vec{v}_1 - m_p\,\vec{v}_1$.

$\vec{p}_{\text{avant}} = \vec{0}$

PIÈGE
Additionner les valeurs ($2\,m_p\,v_1$) au lieu des vecteurs. Deux vecteurs opposés de même norme ont une somme nulle.

COMPRENDRE
La quantité de mouvement $\vec{p} = m\,\vec{v}$ et sa conservation pour un système isolé relèvent de l'ancien programme de Terminale S. Elles ne figurent plus au programme actuel de la spécialité.

2.3 Le système est considéré comme isolé. Choisir, parmi les trois schémas, celui qui correspond à la situation après la collision. Justifier.

Pour un système isolé, la quantité de mouvement se conserve : $\vec{p}_{\text{après}} = \vec{p}_{\text{avant}} = \vec{0}$.

Après le choc : $m_p\,\vec{v}_1 + m_p\,\vec{v}_2 = \vec{0}$, donc $\vec{v}_2 = -\vec{v}_1$. Les deux vecteurs vitesse doivent être de même direction, de sens opposés et de même longueur.

- Schéma 1 : sens opposés, mais $\vec{v}_2$ est plus long que $\vec{v}_1$: la somme n'est pas nulle.
- Schéma 2 : les deux vecteurs n'ont pas la même direction : la somme n'est pas nulle.
- Schéma 3 : même direction, sens opposés, même longueur.

Le schéma n° 3 est le seul compatible avec la conservation de la quantité de mouvement.

MÉTHODE
Pour trancher entre des schémas, traduire la loi en trois critères sur les flèches (direction, sens, longueur), puis les tester un par un sur chaque schéma.

Détection d'exoplanètes

Bac S 2020 Polynésie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 L'image d'un point par un instrument d'optique est une tache entourée d'anneaux (tache d'Airy). Nommer ce phénomène et citer les paramètres qui l'influencent.

Ce phénomène est la **diffraction** de la lumière par l'ouverture circulaire de l'instrument.

Il dépend de deux paramètres : la longueur d'onde λ de la lumière et la taille de l'ouverture, ici le diamètre D de l'instrument.

Diffraction ; elle est d'autant plus marquée que λ est grande et que le diamètre D de l'ouverture est petit.

COMPRENDRE

Pour une fente de largeur a, l'angle caractéristique est $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$. Pour une ouverture circulaire, la formule de 1.3 a la même forme, avec le facteur 1,22.

1.2 Calculer l'angle θ entre les directions d'observation de l'étoile HR 8799 et de sa planète la plus proche.

Données utiles distance Terre-étoile : 130 années-lumière ; distance étoile-planète : 24 unités astronomiques ; $1\ \text{ua} = 150 \times 10^{9}$ m ; $1\ \text{al} = 9{,}5 \times 10^{15}$ m

On note O l'œil, E l'étoile et P la planète. D'après le schéma, le triangle OEP est rectangle en E :

$$\tan\theta = \frac{EP}{OE}$$

L'angle est très petit, donc $\tan\theta \approx \theta$ avec θ en radians.

$EP = 24 \times 150 \times 10^{9} = 3{,}6 \times 10^{12}$ m et $OE = 130 \times 9{,}5 \times 10^{15} = 1{,}2 \times 10^{18}$ m.

$$\theta = \frac{EP}{OE} = \frac{24 \times 150 \times 10^{9}}{130 \times 9{,}5 \times 10^{15}}$$

$\theta = 2{,}9 \times 10^{-6}$ rad

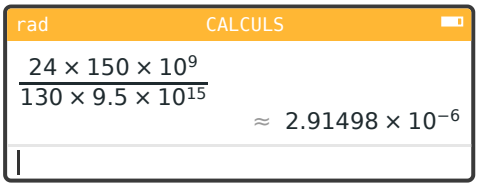
PIÈGE

Diviser 24 par 130 sans convertir : les deux distances ne sont pas dans la même unité. Il faut les exprimer toutes les deux en mètres avant de faire le rapport.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme les données 24 et 9,5. L'approximation $\tan\theta \approx \theta$ n'est valable qu'en radians : le résultat s'exprime donc dans cette unité.

À LA CALCULATRICE



1.3 Montrer la nécessité d'avoir recours à l'optique adaptative pour le télescope LBT.

Données utiles $\theta_R = \dfrac{1{,}22\,\lambda}{D}$; diamètre réel 8,4 m ; diamètre équivalent $D = 20$ cm ; $\lambda = 1000$ nm ; $\theta = 2{,}9 \times 10^{-6}$ rad (1.2)

Sans correction, le télescope se comporte comme un instrument de diamètre $D = 0{,}20$ m :

$$\theta_R = \frac{1{,}22\,\lambda}{D} = \frac{1{,}22 \times 1000 \times 10^{-9}}{0{,}20} = 6{,}1 \times 10^{-6}\ \text{rad}$$

Or $\theta = 2{,}9 \times 10^{-6}$ rad : $\theta < \theta_R$. Les taches de l'étoile et de la planète se confondent, on ne distingue pas les deux astres.

Avec l'optique adaptative, le télescope retrouve son diamètre de 8,4 m :

$$\theta'_R = \frac{1{,}22 \times 1000 \times 10^{-9}}{8{,}4} = 1{,}5 \times 10^{-7}\ \text{rad}$$

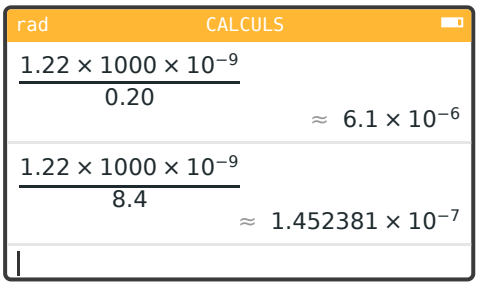
Cette fois $\theta > \theta'_R$: l'étoile et la planète sont séparées.

$\theta < \theta_R = 6{,}1 \times 10^{-6}$ rad sans correction : l'optique adaptative est nécessaire pour séparer la planète de son étoile.

PIÈGE
Laisser λ en nanomètres ou D en centimètres. Et ne pas se tromper de sens : un pouvoir de résolution θ_R petit correspond à un instrument performant.

COMPRENDRE
Le pouvoir de résolution n'est plus une notion exigible du programme actuel de spécialité ; la relation serait fournie, comme ici. La diffraction, elle, reste au programme.

À LA CALCULATRICE



2.1 Expliquer qualitativement, à partir du schéma, le décalage vers le bleu et le décalage vers le rouge.

Cas b : la source se rapproche de l'observateur. Entre deux émissions successives, elle avance dans le sens de propagation de l'onde : les maxima sont plus resserrés. La longueur d'onde reçue est plus petite que celle émise, les raies se déplacent vers les courtes longueurs d'onde, du côté du bleu.

Cas c : la source s'éloigne. Les maxima sont plus espacés, la longueur d'onde reçue est plus grande et les raies se déplacent vers les grandes longueurs d'onde, du côté du rouge.

Source qui se rapproche : λ diminue, décalage vers le bleu. Source qui s'éloigne : λ augmente, décalage vers le rouge.

PIÈGE
« Qualitativement » : on raisonne sur le schéma, sans la relation $\dfrac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \dfrac{V_R}{c}$, qui porte une valeur absolue et ne donne donc pas le sens du décalage.

COMPRENDRE
« Vers le bleu » indique un sens de déplacement dans le spectre, pas une couleur : une raie infrarouge décalée vers le bleu reste infrarouge.

2.2 Reproduire le schéma de la trajectoire de l'étoile et indiquer les positions où le spectre n'est pas décalé, est décalé vers le bleu, est décalé vers le rouge. Justifier avec le vecteur vitesse en trois positions.

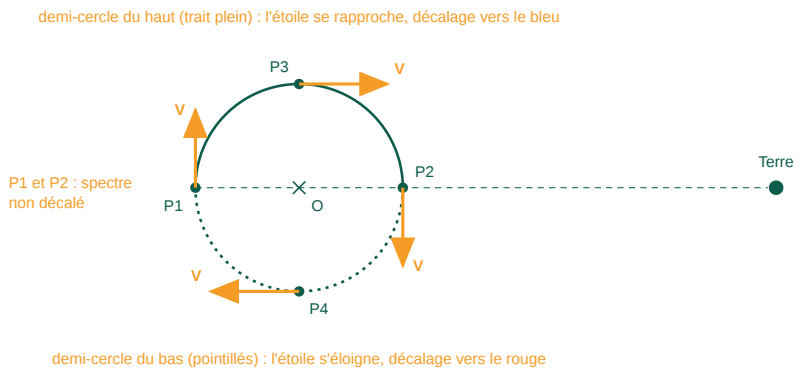
Le vecteur vitesse $\vec{V}$ est tangent au cercle, dans le sens de parcours imposé par le schéma du sujet. Le décalage dépend de sa composante $\vec{V}_R$ sur la direction Terre-étoile.

- Aux points P_1 et P_2, alignés avec O et la Terre, $\vec{V}$ est perpendiculaire à la direction d'observation : $V_R = 0$, le spectre n'est pas décalé.
- Sur le demi-cercle du haut (exemple : P_3), $\vec{V}_R$ est dirigée vers la Terre : l'étoile se rapproche, le spectre est décalé vers le bleu.
- Sur le demi-cercle du bas (exemple : P_4), $\vec{V}_R$ est dirigée à l'opposé de la Terre : l'étoile s'éloigne, le spectre est décalé vers le rouge.

Pas de décalage en P_1 et P_2 ; décalage vers le bleu sur le demi-cercle où l'étoile se rapproche, vers le rouge sur l'autre.

PIÈGE
Placer les positions sans décalage en haut et en bas du cercle : la vitesse y est dirigée le long de la direction d'observation, la vitesse radiale y est au contraire maximale.

MÉTHODE
Projeter $\vec{V}$ sur la droite Terre-étoile. Projection vers la Terre : rapprochement, bleu. Projection à l'opposé : éloignement, rouge. Projection nulle : pas de décalage.



2.2 · Trajectoire de l'étoile : vecteur vitesse en quatre positions et zones de décalage

2.3 Déterminer la vitesse radiale de l'étoile HD 2665 à partir de la raie H_β de son spectre, et dire si l'étoile s'éloigne ou se rapproche de la Terre.

Données utiles $\lambda_0 = 486{,}1$ nm ; $c = 3{,}0 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\dfrac{|\lambda - \lambda_0|}{\lambda_0} = \dfrac{V_R}{c}$

Sur le spectre, le minimum de la raie H_β se situe à mi-chemin entre 485,0 nm et 486,0 nm : $\lambda = 485{,}5$ nm.

$$V_R = c \times \frac{|\lambda - \lambda_0|}{\lambda_0} = 3{,}0 \times 10^8 \times \frac{|485{,}5 - 486{,}1|}{486{,}1} = 4 \times 10^5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$\lambda < \lambda_0$: la raie est décalée vers les courtes longueurs d'onde, donc vers le bleu. L'étoile se rapproche de la Terre.

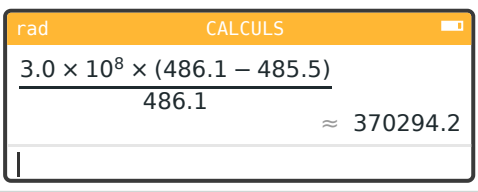
L'axe du spectre porte deux fois la graduation 488,0 : la seconde correspond à 489,0 nm. Cela ne change pas la lecture.

$V_R \approx 4 \times 10^5\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; l'étoile se rapproche de la Terre.

PIÈGE
Une lecture à 0,1 nm près change V_R d'environ $6 \times 10^4\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: lire soigneusement la position du minimum, entre les graduations, et annoncer la valeur lue.

COMPRENDRE
L'écart $|\lambda - \lambda_0| = 0{,}6$ nm n'a qu'un chiffre significatif : le résultat aussi. Les longueurs d'onde peuvent rester en nanomètres, puisqu'on calcule un rapport.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Une hydrolienne à Ouessant

Bac S 2020 Polynésie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1 Schématiser la chaîne énergétique de l'hydrolienne.

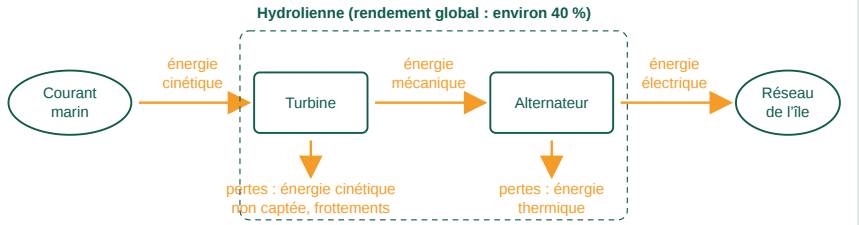
L'hydrolienne est un convertisseur : la turbine reçoit l'énergie cinétique du courant marin et la transmet sous forme d'énergie mécanique (rotation) à l'alternateur, qui la convertit en énergie électrique.

Une partie de l'énergie reçue n'est pas convertie : énergie cinétique conservée par l'eau, frottements, énergie thermique dissipée dans l'alternateur.

Énergie cinétique (courant marin) → turbine → énergie mécanique → alternateur → énergie électrique (réseau), avec des pertes.

PIÈGE
Oublier les pertes : le rendement global n'est que de 40 %, une chaîne sans flèche de pertes est incomplète.

MÉTHODE
Une chaîne énergétique se lit de gauche à droite : les réservoirs aux extrémités, les convertisseurs au centre, une forme d'énergie écrite sur chaque flèche.



1 · Chaîne énergétique de l'hydrolienne

2 Montrer que l'emplacement proposé pour l'installation de l'hydrolienne est adapté.

Données utiles $f_e = 500$ kHz ; $c = 1500\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $1\ \text{nd} = 0{,}514\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; conditions : profondeur de 30 m à 40 m, vitesse supérieure à 4 nd

Profondeur. Sur la carte des fonds marins, la croix est au bord de la zone sombre qui entoure l'île, là où la teinte passe au gris moyen : la profondeur y est de l'ordre de 30 m à 40 m.

Vitesse du courant. Sur la carte des décalages Doppler, la croix est dans une zone de gris moyen : Δf est compris entre $1{,}94$ kHz et $2{,}32$ kHz, soit $\Delta f \approx 2{,}1$ kHz.

$$\Delta f = f_r - f_e = f_e\left(1 + \frac{2v}{c}\right) - f_e = \frac{2\,v\,f_e}{c}, \text{ donc } v = \frac{c\,\Delta f}{2\,f_e}$$

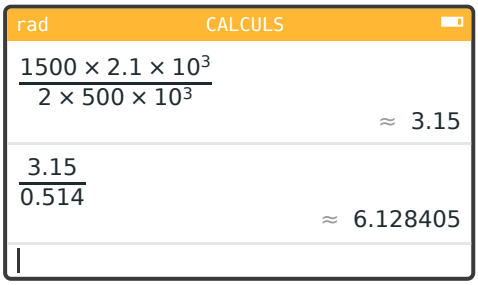
$$v = \frac{1500 \times 2{,}1 \times 10^3}{2 \times 500 \times 10^3} = 3{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \quad \text{soit} \quad \frac{3{,}15}{0{,}514} = 6{,}1\ \text{nd}$$

Profondeur d'environ 30 m à 40 m et $v \approx 6\ \text{nd} > 4\ \text{nd}$: l'emplacement est adapté.

PIÈGE
Deux conditions sont à vérifier, la profondeur et la vitesse. Convertir aussi Δf et f_e dans la même unité, et la vitesse en nœuds avant de comparer à 4 nd.

COMPRENDRE
La lecture de Δf ne donne que deux chiffres significatifs : v aussi. Même avec la plus petite valeur de la légende, $1{,}60$ kHz, on trouve $2{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, soit $4{,}7$ nd : la conclusion est sûre.

À LA CALCULATRICE



3 Estimer le diamètre d du disque balayé par les pales à partir de la photographie. Problème : quel est le pourcentage de fuel économisé suite à l'installation de l'hydrolienne ?

Données utiles $\rho = 1{,}02 \times 10^3$ kg · m^{-3} ; rendement 40 % ; 12 h de fonctionnement par jour ; 850 habitants ; 6 MWh par personne et par an ; $v = 3{,}15$ m · s^{-1} (Q2)

Sur la photographie, on prend pour échelle un homme debout, de taille voisine de 1,7 m. Le diamètre de l'hélice (du bout d'une pale au bout de la pale opposée) vaut environ 6 fois la taille de l'homme vu en entier à gauche : $d \approx 6 \times 1{,}7$ m.

$d \approx 10$ m

Problème. Étape 1 : puissance électrique fournie. Surface balayée : $S = \pi \left(\dfrac{d}{2}\right)^2 = \pi \times 5{,}0^2 = 79$ m^2.

$$P_c = \frac{1}{2}\rho S v^3 = \frac{1}{2} \times 1{,}02 \times 10^3 \times \pi \times 5{,}0^2 \times 3{,}15^3 = 1{,}3 \times 10^6 \text{ W}$$

Avec le rendement de 40 % : $P_e = 0{,}40 \times P_c = 5{,}0 \times 10^5$ W.

Étape 2 : énergie électrique produite en un an, à raison de 12 h par jour : $\Delta t = 12 \times 365 = 4\,380$ h.

$E = P_e \times \Delta t = 5{,}0 \times 10^5 \times 4\,380 = 2{,}2 \times 10^9$ Wh, soit $2{,}2 \times 10^3$ MWh.

Étape 3 : énergie électrique consommée sur l'île en un an : $E_{\text{île}} = 850 \times 6 = 5{,}1 \times 10^3$ MWh.

Étape 4 : avant 2015, toute cette énergie venait de la centrale. En supposant le volume de fuel brûlé proportionnel à l'énergie électrique produite par la centrale, la part de fuel économisée est $\dfrac{E}{E_{\text{île}}} = \dfrac{2{,}2 \times 10^3}{5{,}1 \times 10^3} = 0{,}43$.

Regard critique : le résultat repose sur deux estimations, d et v (prise constante, à sa valeur de mi-marée), et sur une population de 850 habitants, plus élevée en été. Seul l'ordre de grandeur est à retenir.

L'hydrolienne permet d'économiser environ 40 % du fuel, soit près de 8×10^5 L sur $1{,}8 \times 10^6$ L par an.

PIÈGE
Utiliser le diamètre à la place du rayon dans $S = \pi R^2$ multiplie le résultat par 4. Garder aussi v en m · s^{-1}, et non en nœuds, dans P_c.

COMPRENDRE
Les hommes du premier plan paraissent plus grands : selon le repère choisi, on trouve d entre 6 m et 10 m, et l'économie varie de 15 % à 45 %. Toute estimation cohérente et justifiée est valorisée.

COMPRENDRE
La « résolution de problème » était propre à l'ancien enseignement de spécialité. Les notions utilisées ici (effet Doppler, puissance, énergie, rendement) restent au programme actuel.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

6×1.7 ≈ 10.2

$0.5 \times 1.02 \times 10^3 \times \pi \times 5^2 \times 3.15^3$ ≈ 1251964

$0.40 \times 1\,251\,963.648 \times 12 \times 365$ ≈ 2.19344×10^9

850×6 5 100

$\dfrac{2\,193\,440\,311}{5100 \times 10^6}$ ≈ 0.4300863

$0.43 \times 1.8 \times 10^6$ ≈ 774000