Corrigé complet — Bac S 2017 Asie (ancien programme)

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

Ex 1	**L'acide glycolique** Nomenclature et groupes caractéristiques · Spectroscopie infrarouge · Chromatographie sur couche mince · Titrage pH-métrique · Diagramme de distribution · Hydrolyse d'un polyester	9 pts	1 h 30	16 questions	p. 2
Ex 2	**Les ondes gravitationnelles** Année-lumière · Retard et célérité d'une onde · Interaction gravitationnelle · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution	6 pts	1 h	7 questions	p. 9
Ex 3	**Chaîne de transmission de l'information** Chaîne de transmission · Propagation guidée · Retard et vitesse de propagation · Incertitudes de mesure · Atténuation en décibels · Numérisation d'un signal	5 pts	50 min	13 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Des routes qui génèrent de l'électricité** Énergie d'un photon · Effet photovoltaïque · Rendement d'une cellule · Domaines des ondes électromagnétiques · Résolution de problème · Ordres de grandeur	5 pts	50 min	3 questions	p. 18

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.

L'acide glycolique

Bac S 2017 Asie (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1 Partie A. Justifier le nom officiel de l'acide glycolique : acide hydroxyéthanoïque.

La formule de l'acide glycolique est $HO-CH_2-COOH$.

- « éthan » : la chaîne carbonée compte deux atomes de carbone ;
- « acide …oïque » : le groupe carboxyle $-COOH$ (famille des acides carboxyliques) est porté par le carbone n° 1 ;
- « hydroxy » : le groupe hydroxyle $-OH$ est porté par l'autre carbone, le n° 2.

Chaîne à 2 carbones, groupe carboxyle et groupe hydroxyle : acide hydroxyéthanoïque.

COMPRENDRE
Le groupe carboxyle est prioritaire : il donne la terminaison du nom. Le groupe hydroxyle passe alors en préfixe « hydroxy ». Avec deux carbones seulement, sa position (2) est sous-entendue.

2 Partie A. L'acide glycolique possède-t-il des stéréoisomères de configuration ? Justifier.

Dans $HO-CH_2-COOH$:

- le carbone du groupe CH_2 porte deux atomes d'hydrogène identiques, et celui du groupe carboxyle n'a que trois voisins : aucun carbone n'est asymétrique, il n'y a pas d'énantiomères ;
- la molécule ne contient pas de double liaison $C=C$: il n'y a pas d'isomérie Z/E.

L'acide glycolique ne possède aucun stéréoisomère de configuration.

COMPRENDRE
Un carbone asymétrique est un carbone tétraédrique lié à quatre atomes ou groupes tous différents. La stéréoisomérie de configuration faisait partie du programme de Terminale S ; elle n'est plus au programme actuel de spécialité.

3.1 Partie A. Quelle est la couleur de l'éluant ?

Données utiles pH de l'éluant : 2 ; bleu de bromophénol : jaune (forme acide), bleu (forme basique), zone de virage 3,0 – 4,6

L'éluant a un pH égal à 2, inférieur à 3,0, la borne basse de la zone de virage : le bleu de bromophénol s'y trouve sous sa forme acide, jaune. Le butan-1-ol et la solution d'acide éthanoïque sont incolores.

L'éluant est jaune.

3.2 Partie A. Expliquer les couleurs des taches observées sur le chromatogramme après séchage et interpréter le chromatogramme.

Couleurs. Au séchage, l'acide éthanoïque s'évapore : la plaque n'est plus acide, son pH dépasse 4,6 et l'indicateur, sous sa forme basique, colore le fond en bleu. Là où une espèce acide s'est arrêtée, le pH reste localement inférieur à 3,0 : l'indicateur y garde sa forme acide, jaune. Chaque tache jaune repère donc un acide.

Interprétation. Le dépôt 1 (vesou) donne plusieurs taches : le vesou est un mélange de plusieurs acides. Le dépôt 2 (acide glycolique pur) donne une seule tache. L'une des taches du vesou a migré à la même hauteur que celle de l'acide glycolique pur.

Le vesou contient plusieurs acides, dont l'acide glycolique.

MÉTHODE
Lire un chromatogramme : lecture verticale, une tache par espèce (une seule tache : corps pur) ; lecture horizontale, deux taches à la même hauteur correspondent à la même espèce.

4 Partie A. Quelle masse de vesou serait nécessaire pour obtenir 100 mL d'acide glycolique pur, si sa teneur en masse est de 0,1 % ?

Données utiles $\rho = 1{,}49\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; $V = 100\ \text{mL} = 100\ \text{cm}^3$; teneur massique : 0,1 %

Masse d'acide glycolique à obtenir : $m_{AH} = \rho \times V = 1{,}49 \times 100 = 149\ \text{g}$.

Cette masse représente 0,1 % de la masse m de vesou (matière organique extraite) :

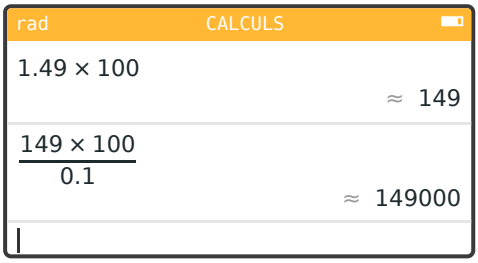
$$m = \frac{m_{AH}}{0{,}1\ \%} = \frac{149 \times 100}{0{,}1} = 1{,}49 \times 10^5\ \text{g}$$

$m \approx 1{,}5 \times 10^2\ \text{kg}$: il faut de l'ordre de 150 kg de vesou.

PIÈGE
Multiplier par 0,1 au lieu de diviser par 0,001 : la masse de vesou est mille fois plus grande que celle de l'acide, pas plus petite.

COMPRENDRE
La teneur « 0,1 % » ne porte qu'un chiffre significatif : en toute rigueur le résultat est 1×10^2 kg. Seul l'ordre de grandeur compte ici, une centaine de kilogrammes de vesou pour un dixième de litre d'acide.

À LA CALCULATRICE



5 Partie A. Avancer deux arguments pour justifier que le spectre infrarouge du produit obtenu peut correspondre à l'acide glycolique.

Données utiles table IR : $\text{O}-\text{H}$ alcool 3200 – 3400 ; $\text{O}-\text{H}$ acide carboxylique 2500 – 3200 ; $\text{C}=\text{O}$ acide carboxylique 1680 – 1710 (en cm^{-1})

L'acide glycolique $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ porte un groupe hydroxyle (alcool) et un groupe carboxyle.

- Le spectre présente une bande forte et fine vers $1700\ \text{cm}^{-1}$: elle correspond à la liaison $\text{C}=\text{O}$ d'un acide carboxylique.
- Il présente une bande large et intense entre 2500 et $3400\ \text{cm}^{-1}$, dont le minimum se situe vers $3300\ \text{cm}^{-1}$: elle regroupe la liaison $\text{O}-\text{H}$ de l'alcool (3200 – 3400) et la liaison $\text{O}-\text{H}$ de l'acide carboxylique (2500 – 3200).

Les bandes $\text{C}=\text{O}$ et $\text{O}-\text{H}$ (alcool et acide) sont présentes : le spectre est compatible avec l'acide glycolique.

PIÈGE
L'échelle horizontale change à $2000\ \text{cm}^{-1}$: les graduations sont plus serrées à gauche. La bande $\text{C}=\text{O}$ se lit entre 2000 et 1500, pas au milieu du spectre.

COMPRENDRE
Le spectre ne prouve pas la formule : il montre seulement que les liaisons attendues sont là. D'où la formulation « peut correspondre ».

1 Partie B. Proposer une méthode pour déterminer expérimentalement la masse volumique de la solution : matériel, prélèvements et mesures, sachant que $\rho = 1{,}26\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

On mesure la masse m d'un volume V connu avec précision, puis on calcule $\rho = \dfrac{m}{V}$.

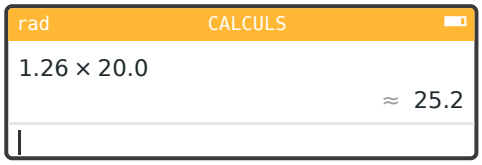
Matériel : balance au centième de gramme, bécher sec, pipette jaugée de 20,0 mL et son dispositif d'aspiration.

- Poser le bécher vide sur la balance et faire la tare.
- Prélever $V = 20{,}0\ \text{mL}$ de solution à la pipette jaugée et les verser dans le bécher.
- Lire la masse : on doit trouver $m = \rho \times V = 1{,}26 \times 20{,}0 = 25{,}2\ \text{g}$.

$\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{25{,}2}{20{,}0} = 1{,}26\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (avec $1\ \text{mL} = 1\ \text{cm}^3$).

COMPRENDRE
On ne dispose que de 50 mL de solution : le volume pesé doit rester inférieur. Il doit être mesuré avec de la verrerie jaugée (pipette ou fiole), jamais avec un bécher ou une éprouvette. Une fiole jaugée de 50,0 mL conviendrait aussi (63,0 g).

À LA CALCULATRICE



2.1 Partie B. Décrire la préparation de 100,0 mL de solution dermatologique diluée 20 fois.

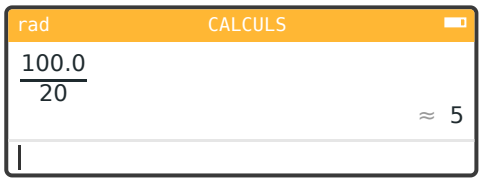
Lors d'une dilution, la quantité de soluté se conserve : le volume de solution mère à prélever est $V_0 = \dfrac{V_1}{20} = \dfrac{100{,}0}{20} = 5{,}0\ \text{mL}$.

- Verser un peu de solution dermatologique dans un bécher et en prélever 5,0 mL à la pipette jaugée (5,0 mL) équipée d'une propipette.
- Vider la pipette dans une fiole jaugée de 100,0 mL.
- Ajouter de l'eau distillée aux deux tiers, boucher, agiter.
- Compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque), boucher et homogénéiser.

5,0 mL de solution mère (pipette jaugée) dans une fiole jaugée de 100,0 mL, complétée à l'eau distillée.

PIÈGE
Citer une éprouvette graduée ou un bécher pour mesurer les volumes : une dilution précise exige une pipette jaugée et une fiole jaugée. Ne pas pipeter directement dans le flacon.

À LA CALCULATRICE

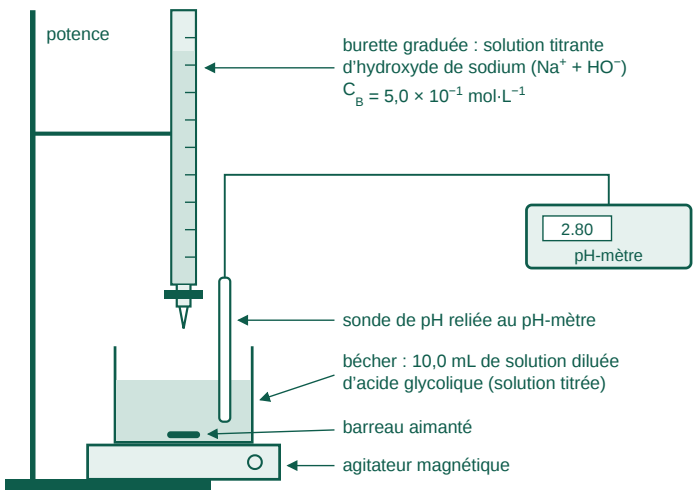


2.2 Partie B. Réaliser un schéma annoté du montage permettant d'effectuer le titrage.

Le schéma doit faire apparaître : la burette graduée contenant la solution titrante d'hydroxyde de sodium, le bécher contenant la prise d'essai de 10,0 mL de solution diluée, la sonde du pH-mètre plongeant dans la solution, le barreau aimanté et l'agitateur magnétique.

Voir le schéma annoté ci-dessous.

COMPRENDRE
On ajoute un peu d'eau distillée dans le bécher pour que la sonde soit bien immergée : cela ne change pas la quantité d'acide à titrer, donc pas le volume équivalent.



2.2 · Montage du titrage suivi par pH-métrie.

2.3 Partie B. Identifier, sur le diagramme de distribution, la courbe correspondant à l'acide glycolique AH et celle correspondant à l'ion glycolate A^-. Justifier.

Données utiles $\mathrm{p}K_a(\mathrm{AH}/\mathrm{A}^-) = 3{,}83$

Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$, la forme acide AH prédomine ; pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$, c'est la forme basique A^-.

La courbe en pointillés vaut près de 100 % aux faibles pH puis décroît : elle représente AH. La courbe en trait plein est nulle aux faibles pH puis atteint 100 % : elle représente A^-.

Pointillés : acide glycolique AH ; trait plein : ion glycolate A^-.

COMPRENDRE
Les deux courbes se croisent à 50 % pour un pH voisin de 3,8 : en ce point $[\mathrm{AH}] = [\mathrm{A}^-]$, donc $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a$. On retrouve la valeur 3,83 des données.

2.4 Partie B. Quelle est la forme prédominante du couple AH/A^- au début du titrage ? Puis à la fin du titrage ? Justifier.

Données utiles courbe de titrage : $\mathrm{pH} \approx 2{,}8$ pour $V = 0$; $\mathrm{pH} \approx 12{,}5$ pour $V = 20$ mL ; $\mathrm{p}K_a = 3{,}83$

Au début du titrage, $\mathrm{pH} \approx 2{,}8 < \mathrm{p}K_a$: la forme acide AH prédomine (environ 90 % sur le diagramme de distribution).

À la fin du titrage, $\mathrm{pH} \approx 12{,}5 > \mathrm{p}K_a$: la forme basique A^- prédomine (100 % sur le diagramme).

Début du titrage : AH prédomine ; fin du titrage : A^- prédomine.

2.5 Partie B. En déduire l'équation chimique de la réaction support du titrage.

Au cours du titrage, l'acide AH est transformé en sa base conjuguée A^- : il cède un ion H^+ à la base HO^- apportée par la solution d'hydroxyde de sodium.

$$\mathrm{AH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow A^-\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

COMPRENDRE
Une réaction support de titrage doit être totale et rapide : on l'écrit avec une flèche simple. Les ions Na^+ sont spectateurs et n'apparaissent pas dans l'équation.

2.6 Partie B. Quel pourcentage massique d'acide glycolique doit être indiqué sur l'étiquette ?

Données utiles $C_B = 5{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_A = 10{,}0\ \text{mL}$; dilution au vingtième ; $M = 76\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $\rho = 1{,}26\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$

Volume équivalent. Le saut de pH se situe entre 11,5 et 12,0 mL ; la méthode des tangentes parallèles donne $V_E \approx 11{,}8\ \text{mL}$.

Concentration de la solution diluée. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n(\text{AH}) = n(\text{HO}^-)$, soit $C_1 V_A = C_B V_E$.

$$C_1 = \frac{C_B\, V_E}{V_A} = \frac{5{,}0 \times 10^{-1} \times 11{,}8}{10{,}0} = 0{,}59\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Solution dermatologique. Elle est 20 fois plus concentrée : $C_0 = 20 \times C_1 = 11{,}8\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Pourcentage massique. Un litre de solution a une masse $m_{sol} = 1{,}26 \times 1000 = 1260\ \text{g}$ et contient une masse d'acide $m_{AH} = C_0 \times M = 11{,}8 \times 76 = 897\ \text{g}$.

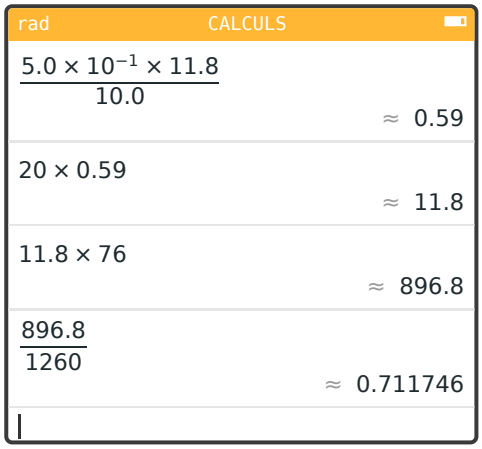
$$P = \frac{m_{AH}}{m_{sol}} = \frac{897}{1260} = 0{,}71$$

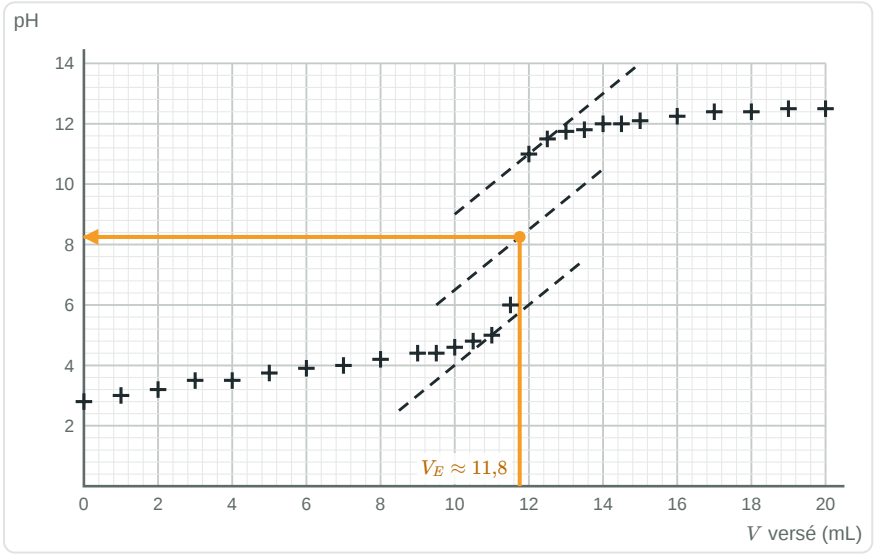
$P \approx 71\ \%$: parmi les solutions existantes, l'étiquette doit indiquer 70 % en masse.

PIÈGE
Oublier le facteur 20 de la dilution : on trouverait 3,6 %, sans rapport avec les valeurs proposées. Autre oubli fréquent : la masse d'un litre de solution est 1260 g, pas 1000 g.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer le plan (volume équivalent, concentration titrée, retour à la solution mère, pourcentage), puis comparer le résultat aux valeurs de l'énoncé (20, 35, 50 ou 70 %) pour conclure.

À LA CALCULATRICE





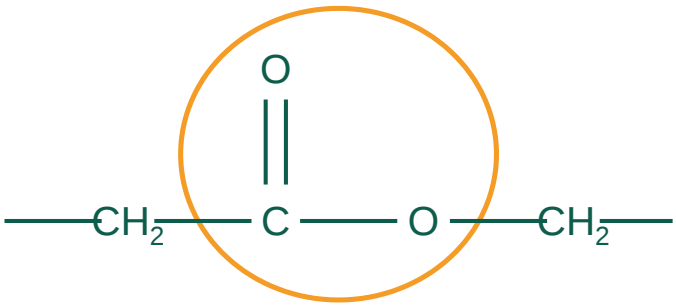
2.6 · Courbe de titrage du sujet : tangentes parallèles et lecture du volume équivalent.

1 Partie C. Identifier et reproduire le groupe caractéristique présent dans l'acide polyglycolique.

Dans le motif du PGA, chaque atome de carbone doublement lié à un oxygène est aussi lié, par une liaison simple, à un atome d'oxygène lui-même relié à un carbone : c'est l'enchaînement $-\text{CO}-\text{O}-\text{C}$.

Le groupe caractéristique est le groupe ester (le PGA est un polyester).

PIÈGE
Répondre « carboxyle » ou « carbonyle » : l'oxygène lié au carbone du $\text{C}=\text{O}$ porte ici une chaîne carbonée et non un hydrogène, c'est donc un ester.



groupe ester

1 · Le groupe ester, entouré dans un fragment de la chaîne du PGA.

2 Partie C. Proposer une interprétation à la résorption du PGA sous l'action de l'eau contenue dans les tissus.

Le PGA est un polyester : l'eau des tissus hydrolyse ses groupes ester. Chaque hydrolyse coupe la chaîne en formant un groupe carboxyle d'un côté et un groupe hydroxyle de l'autre.

La macromolécule est ainsi découpée en fragments de plus en plus courts, jusqu'à l'acide glycolique, petite molécule très soluble dans l'eau, que les fluides biologiques éliminent. Le fil perd sa résistance puis disparaît.

Cette hydrolyse est lente (un peu moins à 37 °C, température du corps, qu'à température ambiante) : la résorption est progressive et s'étale sur plusieurs semaines.

Le fil se résorbe par hydrolyse lente de ses fonctions ester, qui fragmente le polymère en petites molécules solubles éliminées par l'organisme.

COMPRENDRE
La lenteur de la réaction est ici un avantage : le fil doit tenir le temps que les tissus cicatrisent. La température est un facteur cinétique, elle accélère l'hydrolyse sans changer ses produits.

3 Partie C. Pour la suture d'un intestin, lequel des deux fils (nanofibre ou macrofibre) est le plus adapté ?

Données utiles délai de cicatrisation de l'intestin : 2 à 3 semaines ; graphique de résistance des deux fils au cours du temps

Critère. D'après le premier graphe, la suture est utile tant que sa résistance reste supérieure à 50 % : au point X, le tissu cicatrisé prend le relais. Le fil doit donc garder au moins 50 % de sa résistance pendant le délai de cicatrisation, soit 2 à 3 semaines pour l'intestin.

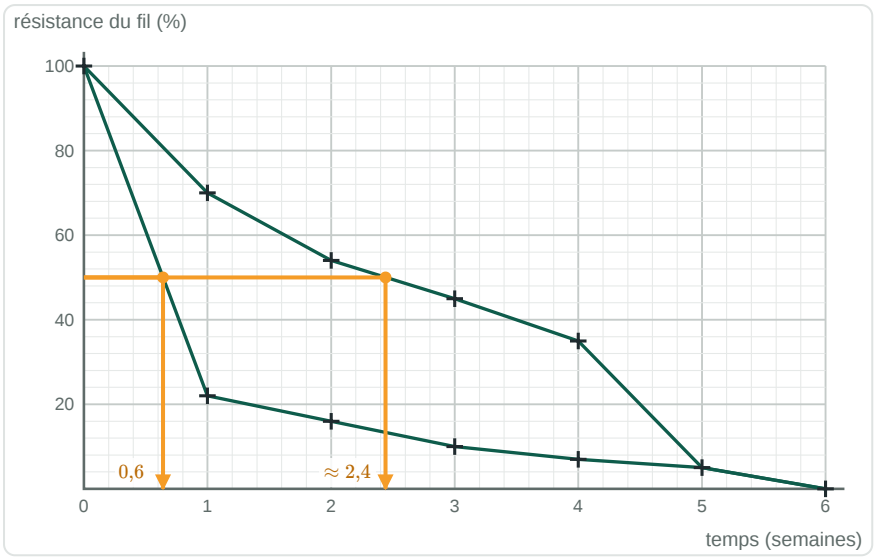
Fil nanofibre. Sa résistance tombe à 22 % dès la première semaine ; elle passe sous 50 % au bout de 0,6 semaine environ. Il cède bien avant la cicatrisation.

Fil macrofibre. Sa résistance vaut encore 54 % à 2 semaines et passe sous 50 % vers 2,4 semaines (45 % à 3 semaines). Il tient pendant l'essentiel de la cicatrisation, puis se résorbe complètement en 6 semaines.

Le fil macrofibre est le plus adapté à la suture d'un intestin.

COMPRENDRE
Le fil macrofibre n'est pas parfait pour une cicatrisation de 3 semaines (45 %), mais la question demande de comparer : le nanofibre a perdu les trois quarts de sa résistance en une semaine.

MÉTHODE
Démarche à présenter : 1) critère tiré du premier graphe (50 %) ; 2) délai lu dans le tableau ; 3) lecture des deux courbes à ce seuil ; 4) conclusion argumentée.



3 · Résistance des fils (en haut : macrofibre ; en bas : nanofibre) et lecture du seuil de 50 %.

Les ondes gravitationnelles

Bac S 2017 Asie (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 À quelle distance de la Terre, exprimée en année-lumière, se trouve la source des ondes gravitationnelles détectées le 14 septembre 2015 ?

Données utiles fusion des trous noirs il y a 1,3 milliard d'années ; célérité des ondes gravitationnelles : c, celle de la lumière dans le vide

Les ondes détectées en 2015 ont été émises lors de la fusion, il y a 1,3 milliard d'années. Elles ont donc voyagé pendant $1{,}3 \times 10^9$ ans à la célérité de la lumière.

Une année-lumière est la distance parcourue par la lumière dans le vide en une année, donc :

$d = 1{,}3 \times 10^9$ années-lumière (1,3 milliard d'années-lumière)

COMPRENDRE
Aucun calcul en mètres n'est demandé : l'année-lumière est justement l'unité pour laquelle la distance se lit directement sur la durée du trajet d'un signal de célérité c.

1.2 Le détecteur de Livingston a reçu les ondes 7 ms avant celui de Hanford. a. Expliquer pourquoi les ondes ne peuvent pas provenir de la direction 2. b. Choisir, en justifiant, une direction possible parmi les deux autres.

Données utiles distance Livingston-Hanford : $D = 3000$ km ; retard mesuré : $\tau = 7$ ms ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; échelle de la carte : segment de 1000 km

a. La direction 2 est celle de la droite Livingston-Hanford. Après Livingston, les ondes devraient encore parcourir $D = 3000$ km pour atteindre Hanford, d'où un retard :

$$\tau_2 = \frac{D}{c} = \frac{3000 \times 10^3}{3{,}00 \times 10^8} = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \text{s} = 10\ \text{ms}$$

Ce retard est nettement supérieur aux 7 ms mesurées : la direction 2 est exclue.

b. Un retard de 7 ms correspond à un trajet supplémentaire jusqu'à Hanford :

$$d' = c\,\tau = 3{,}00 \times 10^8 \times 7 \times 10^{-3} = 2{,}1 \times 10^6\ \text{m} = 2{,}1 \times 10^3\ \text{km}$$

Sur la carte, ce trajet supplémentaire se mesure le long de la direction de propagation, entre Hanford et le front d'onde qui passe par Livingston (perpendiculaire à cette direction). Avec l'échelle :

- direction 1 : $d_1 \approx 2{,}2 \times 10^3$ km, soit un retard $\dfrac{d_1}{c} \approx 7$ ms ;
- direction 3 : $d_3 \approx 2{,}7 \times 10^3$ km, soit un retard $\dfrac{d_3}{c} \approx 9$ ms.

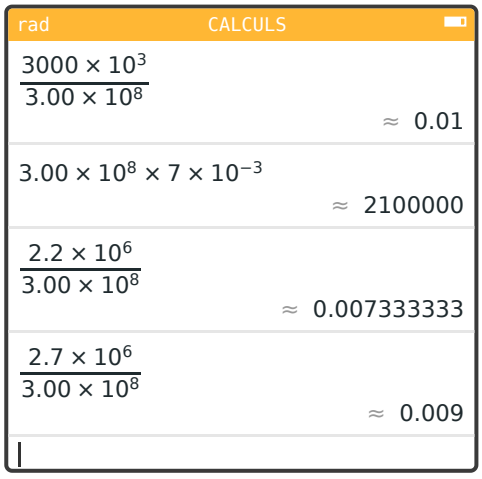
La direction 1 est une provenance possible : elle donne un retard d'environ 7 ms, conforme à la mesure.

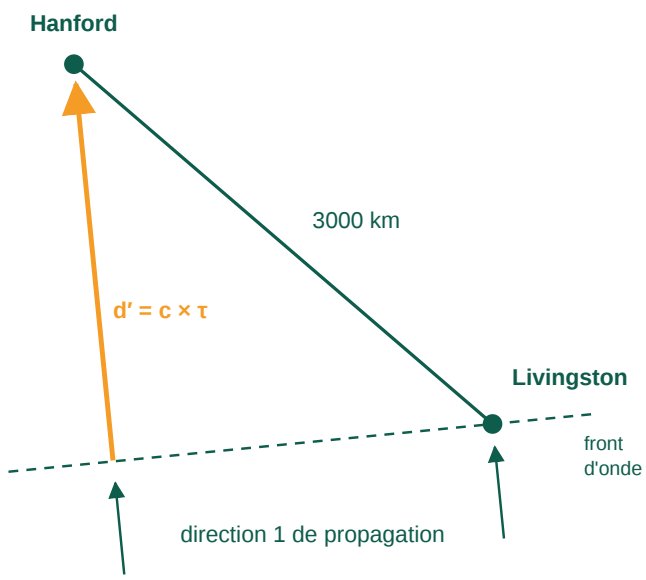
PIÈGE
Utiliser 3000 km pour les trois directions. Cette distance n'est le trajet supplémentaire que si l'onde se propage le long de la droite qui joint les deux détecteurs.

COMPRENDRE
Le retard est donné avec un seul chiffre significatif et la mesure sur la carte est peu précise : un écart de 0,1 cm sur la règle ne change pas la conclusion.

MÉTHODE
Tracer la perpendiculaire à la direction de propagation passant par le premier détecteur atteint : c'est un front d'onde. La distance de ce front au second détecteur, divisée par c, donne le retard.

À LA CALCULATRICE





1.2 · Direction 1 : trajet supplémentaire jusqu'à Hanford (carte du sujet simplifiée)

2.1 Schématiser le système des deux trous noirs, représenter sans souci d'échelle la force gravitationnelle exercée par l'un sur l'autre et donner l'expression de sa valeur en fonction de G, m et r.

Données utiles deux trous noirs de même masse m, diamétralement opposés sur une même orbite circulaire de rayon r

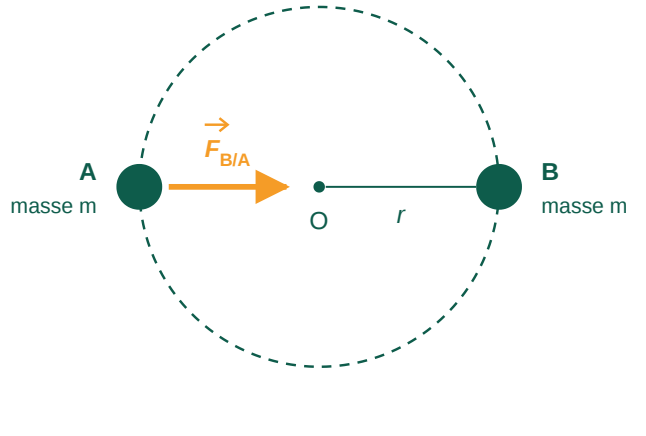
Les trous noirs A et B sont aux extrémités d'un diamètre de l'orbite de centre O : la distance qui les sépare est $AB = 2r$.

La force $\vec{F}_{B/A}$ exercée par B sur A est appliquée en A, portée par la droite (AB) et dirigée vers B, donc vers O (voir le schéma).

$$F_{B/A} = G\frac{m \times m}{(2r)^2}$$

$$\boxed{F_{B/A} = \frac{G\,m^2}{4\,r^2}}$$

PIÈGE
Écrire r^2 au dénominateur. La loi de la gravitation fait intervenir la distance entre les deux centres, ici le diamètre $2r$, et non le rayon de l'orbite.



2.1 · Les deux trous noirs sur leur orbite commune et la force exercée par B sur A

2.2 Montrer que la vitesse v des trous noirs peut s'écrire $v = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{G\,m}{r}}$.

Données utiles $F_{B/A} = \frac{G\,m^2}{4\,r^2}$ (2.1) ; référentiel galiléen, centre O de la trajectoire fixe

Système {trou noir A}, de masse m ; référentiel d'étude supposé galiléen ; seule force : $\vec{F}_{B/A}$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_{B/A} = m\,\vec{a}$. Avec $\vec{n}$ le vecteur unitaire dirigé de A vers O :

$$\vec{a} = \frac{G\,m}{4\,r^2}\,\vec{n}$$

L'accélération n'a pas de composante tangentielle : $\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, le mouvement circulaire est uniforme et $\vec{a} = \frac{v^2}{r}\,\vec{n}$.

En égalant les deux expressions : $\frac{v^2}{r} = \frac{G\,m}{4\,r^2}$, soit $v^2 = \frac{G\,m}{4\,r}$.

$v = \sqrt{\frac{G\,m}{4\,r}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{G\,m}{r}}$: c'est la relation attendue.

PIÈGE
Le rayon de la trajectoire est r, mais la distance dans la force est $2r$. Écrire $\frac{v^2}{2r}$ ou garder $\frac{G\,m}{r^2}$ fait disparaître le facteur $\frac{1}{2}$.

MÉTHODE
Système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi de Newton, puis expression de l'accélération d'un mouvement circulaire : la composante vers le centre donne la vitesse.

2.3 En déduire que le rayon de l'orbite est lié à la période de révolution T des trous noirs par $r^3 = \frac{G\,m}{16\,\pi^2}\,T^2$.

Données utiles $v = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{G\,m}{r}}$ (2.2)

Le mouvement est circulaire uniforme : pendant une période T, un trou noir parcourt le périmètre $2\pi r$ de l'orbite à la vitesse v.

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

On élève au carré et on utilise $v^2 = \frac{G\,m}{4\,r}$:

$$\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{G\,m}{4\,r} \quad \text{donc} \quad 16\,\pi^2 r^3 = G\,m\,T^2$$

$r^3 = \frac{G\,m}{16\,\pi^2}\,T^2$: c'est la relation attendue.

COMPRENDRE
Le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ est constant : on retrouve la forme de la troisième loi de Kepler, avec un coefficient différent de celui d'un satellite autour d'un astre fixe.

2.4 Comment évolue la fréquence des ondes gravitationnelles émises par les deux trous noirs quand ils se rapprochent pour fusionner ?

Données utiles période des ondes : $T_{OG} = \frac{T}{2}$; $r^3 = \frac{G\,m}{16\,\pi^2}\,T^2$ (2.3)

D'après 2.3 : $T = 4\pi\sqrt{\frac{r^3}{G\,m}}$. Quand les trous noirs se rapprochent, r diminue, donc la période de révolution T diminue.

La fréquence des ondes est $f_{OG} = \frac{1}{T_{OG}} = \frac{2}{T}$, soit :

$$f_{OG} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{G\,m}{r^3}}$$

Quand les trous noirs se rapprochent, r diminue et la fréquence des ondes gravitationnelles augmente.

COMPRENDRE
La fréquence des ondes est le double de la fréquence de révolution : après un demi-tour, les deux trous noirs de même masse ont échangé leurs places et le système a retrouvé son aspect.

2.5 Pour deux trous noirs de masse environ égale à 30 fois celle du Soleil, montrer que la mécanique newtonienne donne une bonne approximation de leur vitesse, estimée par la relativité générale au quart de celle de la lumière.

Données utiles cadence : 75 tours par seconde ; $m = 30\,M_S$ avec $M_S = 2{,}00 \times 10^{30}$ kg ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Fréquence de révolution : $f = 75$ Hz, donc $T = \dfrac{1}{f}$.

Rayon de l'orbite (2.3) : $r = \left(\dfrac{G \times 30\,M_S}{16\,\pi^2 f^2}\right)^{1/3}$

$$r = \left(\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 30 \times 2{,}00 \times 10^{30}}{16\,\pi^2 \times 75^2}\right)^{1/3} = 1{,}7 \times 10^5\ \text{m}$$

Vitesse d'un trou noir, avec la valeur non arrondie de r :

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f = 2\pi \times 1{,}65 \times 10^5 \times 75 = 7{,}8 \times 10^7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Comparaison : $\dfrac{v}{c} = \dfrac{7{,}8 \times 10^7}{3{,}00 \times 10^8} = 0{,}26$, alors que la relativité générale prévoit $\dfrac{c}{4}$, soit un rapport de $0{,}25$.

$v = 7{,}8 \times 10^7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \approx \dfrac{c}{4} = 7{,}5 \times 10^7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: la mécanique newtonienne donne une bonne approximation (écart de 4 %).

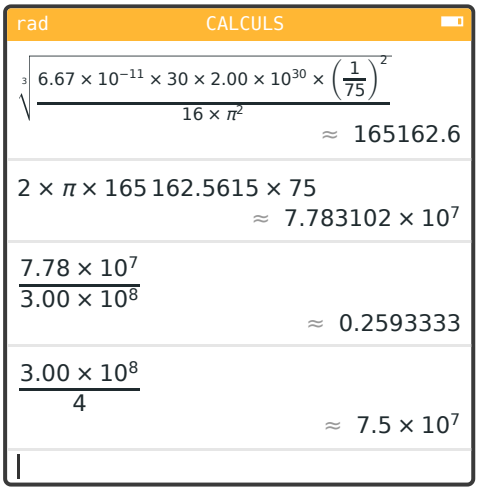
PIÈGE

Prendre 75 Hz pour la fréquence des ondes, ou $T = 75$ s. La cadence de 75 tours par seconde est la fréquence de révolution : $T = \dfrac{1}{75}$ s.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme la cadence « 75 tours par seconde ». Avec r arrondi à $1{,}7 \times 10^5$ m dans $v = \dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{G\,m}{r}}$, on obtient $7{,}7 \times 10^7\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: garder la valeur en mémoire.

À LA CALCULATRICE



Chaîne de transmission de l'information

Bac S 2017 Asie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Partie A. Dans l'expérience, identifier l'émetteur, le canal de transmission, le type de transmission et le récepteur.

- Émetteur : le générateur de fonctions (GBF).
- Canal de transmission : le câble coaxial.
- Type de transmission : propagation **guidée**, le signal électrique est contraint de suivre le câble.
- Récepteur : l'oscilloscope (voie 2), qui reçoit la tension $u_s(t)$ en sortie du câble.

GBF (émetteur) → câble coaxial (canal, propagation guidée) → oscilloscope (récepteur)

COMPRENDRE
Ancien programme : la chaîne de transmission, l'atténuation d'un câble et la numérisation d'un signal ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale. Les incertitudes et la relation retard-distance-vitesse restent utiles.

1.2 Identifier sur l'oscillogramme le signal correspondant à la tension d'entrée du câble et celui correspondant à la tension de sortie. Justifier.

Le signal doit parcourir le câble avant d'atteindre la sortie : la tension de sortie est donc en **retard** sur la tension d'entrée. Sur l'oscillogramme, le front montant du signal B apparaît après celui du signal A.

De plus, le signal s'affaiblit en se propageant : l'amplitude de B (environ 2,5 V) est plus petite que celle de A (environ 2,9 V).

Signal A : tension d'entrée $u_e(t)$; signal B : tension de sortie $u_s(t)$.

MÉTHODE
Deux arguments indépendants suffisent : le retard (le signal de sortie démarre plus tard) et l'atténuation (son amplitude est plus faible). Citer les deux.

1.3 Déterminer la durée de propagation τ du signal dans le câble.

Données utiles base de temps : 100 ns/division

τ est le retard du signal B sur le signal A. On le mesure entre les deux fronts montants : ils sont séparés de 2,0 divisions.

$\tau = 2{,}0 \times 100 = 2{,}0 \times 10^{2}$ ns

$\tau = 2{,}0 \times 10^{-7}$ s

PIÈGE
Mesurer la durée d'un créneau (largeur du signal A) au lieu du décalage entre A et B. Le retard se lit entre deux points homologues, ici le début des deux fronts montants.

1.4 La lecture se fait avec une incertitude absolue égale à la plus petite graduation. En déduire l'incertitude $U(\tau)$ sur la durée de propagation.

Sur l'axe horizontal, une division est partagée en 5 petites graduations. Une petite graduation vaut donc $\frac{100}{5} = 20$ ns.

$U(\tau) = 20 \text{ ns} = 2 \times 10^{-8}$ s

COMPRENDRE
Une incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif. Elle fixe ensuite le dernier chiffre à garder dans le résultat de la mesure.

1.5 Calculer la vitesse de propagation v du signal dans ce câble.

Données utiles $\ell = 40{,}00$ m ; $\tau = 2{,}0 \times 10^{-7}$ s (1.3)

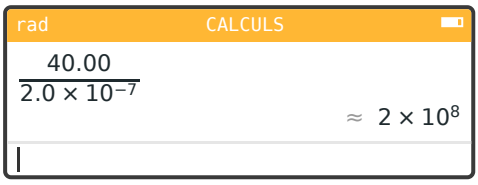
Le signal parcourt la longueur ℓ du câble pendant la durée τ :

$$v = \frac{\ell}{\tau} = \frac{40{,}00}{2{,}0 \times 10^{-7}}$$

$$\boxed{v = 2{,}0 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : τ, lu sur l'écran, est la donnée la moins précise. Les quatre chiffres de ℓ n'y changent rien.

À LA CALCULATRICE



1.6 Montrer que l'une des incertitudes relatives $\frac{U(\ell)}{\ell}$ ou $\frac{U(\tau)}{\tau}$ peut être négligée. Déterminer alors un encadrement de la vitesse v.

Données utiles $U(v) = v\sqrt{\left(\frac{U(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{U(\tau)}{\tau}\right)^2}$; $\ell = 40{,}00 \pm 0{,}05$ m ; $U(\tau) = 2 \times 10^{-8}$ s (1.4)

$\frac{U(\ell)}{\ell} = \frac{0{,}05}{40{,}00} \approx 1 \times 10^{-3}$ (0,1 %) $\quad \frac{U(\tau)}{\tau} = \frac{2 \times 10^{-8}}{2{,}0 \times 10^{-7}} = 0{,}1$ (10 %)

L'incertitude relative sur ℓ est environ 80 fois plus petite que celle sur τ : elle est négligeable. La relation devient

$$U(v) \approx v \times \frac{U(\tau)}{\tau} = 2{,}0 \times 10^{8} \times 0{,}1 = 2 \times 10^{7}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

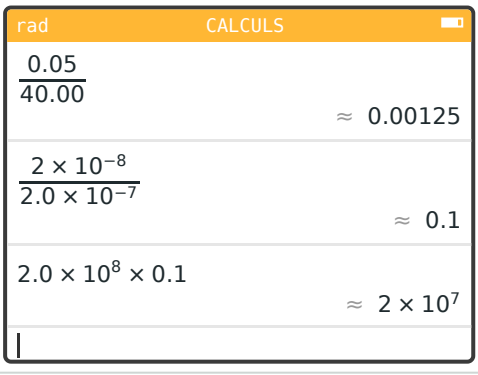
Donc $v = (2{,}0 \pm 0{,}2) \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\boxed{1{,}8 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \leqslant v \leqslant 2{,}2 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

PIÈGE
Comparer les incertitudes absolues (0,05 m et 20 ns) n'a aucun sens : elles n'ont pas la même unité. Seules les incertitudes relatives, sans unité, se comparent.

MÉTHODE
Les incertitudes relatives sont élevées au carré avant d'être ajoutées : un terme 80 fois plus petit pèse plus de 6000 fois moins. La précision d'une mesure est fixée par sa grandeur la moins bien connue.

À LA CALCULATRICE



1.7 Calculer la vitesse théorique v_{th} de propagation du signal le long du câble coaxial.

Données utiles $v_{th} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_R}}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\varepsilon_R = 2{,}1$

$$v_{th} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_R}} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{\sqrt{2{,}1}}$$

$$\boxed{v_{th} = 2{,}1 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

COMPRENDRE
Le signal se propage dans l'isolant du câble moins vite que dans le vide : ici à environ 70 % de c. Résultat à deux chiffres significatifs, comme ε_R.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3.00 \times 10^8}{\sqrt{2.1}} \approx 2.070197 \times 10^8$$

1.8 La valeur de la vitesse expérimentale est-elle acceptable ? Justifier à l'aide des réponses précédentes.

Données utiles $v = (2{,}0 \pm 0{,}2) \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.6) ; $v_{th} = 2{,}1 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.7)

La valeur théorique $v_{th} = 2{,}1 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ appartient à l'intervalle $[1{,}8 \times 10^8 \text{ ; } 2{,}2 \times 10^8] \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ obtenu par la mesure.

La valeur expérimentale est acceptable : elle est compatible avec la valeur théorique.

COMPRENDRE
Aujourd'hui, on compare l'écart à l'incertitude : $\frac{|v - v_{th}|}{U(v)} = \frac{0{,}1}{0{,}2} = 0{,}5$, bien inférieur à 2. La conclusion est la même.

2 Partie A, affaiblissement du signal. Parmi les câbles référencés, proposer un câble compatible avec les résultats de l'expérience. Étant donné la précision sur les mesures, que peut-on dire de cette méthode ?

Données utiles $\alpha = \frac{20}{\ell} \log\left(\frac{U_e}{U_s}\right)$; $\ell = 40{,}00 \text{ m}$; sensibilité verticale : 1 V/division ; tableau des coefficients d'atténuation

Lecture des amplitudes sur l'oscillogramme : $U_e = 2{,}9 \text{ V}$ (signal A) et $U_s = 2{,}5 \text{ V}$ (signal B).

$$\alpha = \frac{20}{\ell} \log\left(\frac{U_e}{U_s}\right) = \frac{20}{40{,}00} \times \log\left(\frac{2{,}9}{2{,}5}\right) = 3{,}2 \times 10^{-2} \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$$

Cette valeur se situe entre celle du RG-58C/U ($2{,}3 \times 10^{-2}$) et celle du RG-188A/U ($4{,}0 \times 10^{-2}$), un peu plus près de la seconde : on propose le câble RG-188A/U.

Précision : la plus petite graduation verticale vaut 0,2 V, alors que l'écart $U_e - U_s$ n'est que de 0,4 V. Dans le cas le plus défavorable ($U_e = 3{,}1 \text{ V}$ et $U_s = 2{,}3 \text{ V}$), on trouverait $\alpha = 6{,}5 \times 10^{-2} \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$; à l'inverse, avec $U_e = U_s = 2{,}7 \text{ V}$, α serait nul.

$\alpha \approx 3{,}2 \times 10^{-2} \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$: câble RG-188A/U proposé, mais la méthode est trop peu précise pour identifier le câble ; seul le RG-174/U est exclu.

PIÈGE
Utiliser le logarithme népérien : ici « log » désigne le logarithme décimal (touche log, pas ln). Le rapport est U_e/U_s, supérieur à 1, pour que α soit positif.

COMPRENDRE
Le rapport U_e/U_s est proche de 1 : une petite erreur de lecture sur chaque tension change beaucoup son logarithme. Un câble plus long, donc un signal plus atténué, donnerait une mesure bien plus précise.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{20}{40.00} \times \log\left(\frac{2.9}{2.5}\right) \approx 0.03222899$$

$$\frac{20}{40.00} \times \log\left(\frac{3.1}{2.3}\right) \approx 0.06481693$$

1 Partie B. Calculer le pas du convertisseur.

Données utiles $p = \dfrac{\Delta U}{2^n}$; calibre $-0{,}5\ \text{V} / +0{,}5\ \text{V}$; convertisseur $n = 12$ bits

Plage de mesures : $\Delta U = U_{max} - U_{min} = 0{,}5 - (-0{,}5) = 1{,}0\ \text{V}$.

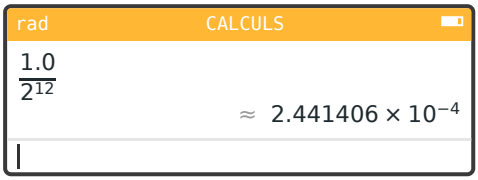
$$p = \frac{\Delta U}{2^n} = \frac{1{,}0}{2^{12}} = \frac{1{,}0}{4096}$$

$$p = 2{,}4 \times 10^{-4}\ \text{V} \approx 0{,}24\ \text{mV}$$

PIÈGE
Prendre $\Delta U = 0{,}5$ V : la plage va de $-0{,}5$ V à $+0{,}5$ V, soit 1,0 V. Autre erreur fréquente : calculer 2×12 au lieu de 2^{12}.

COMPRENDRE
Avec 12 bits, le convertisseur dispose de $2^{12} = 4096$ valeurs pour couvrir la plage. C'est pourquoi le sujet arrondit ensuite le pas à 0,25 mV.

À LA CALCULATRICE



2 Partie B. Calculer la fréquence d'échantillonnage puis en déduire la période d'échantillonnage T_e.

Données utiles 2000 points de mesure en 30 ms

La fréquence d'échantillonnage est le nombre de mesures par seconde :

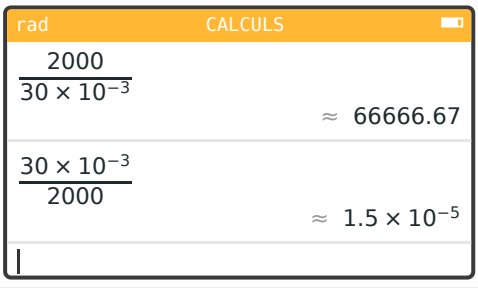
$$f_e = \frac{N}{\Delta t} = \frac{2000}{30 \times 10^{-3}} = 6{,}7 \times 10^4\ \text{Hz}$$

$$T_e = \frac{1}{f_e} = \frac{\Delta t}{N} = \frac{30 \times 10^{-3}}{2000} = 1{,}5 \times 10^{-5}\ \text{s}$$

$$f_e = 6{,}7 \times 10^4\ \text{Hz} = 67\ \text{kHz} \text{ et } T_e = 15\ \mu\text{s}$$

PIÈGE
Laisser la durée en millisecondes : on obtiendrait 67 Hz. Calculer T_e à partir de la valeur non arrondie de f_e, ou directement par $\Delta t / N$.

À LA CALCULATRICE



3 Partie B. Représenter sur l'annexe toutes les valeurs du signal après échantillonnage entre $t = 0$ µs et $t = 60$ µs, avec un pas de 0,25 mV.

Données utiles $T_e = 15\ \mu\text{s}$ (question 2) ; pas $p = 0{,}25\ \text{mV}$

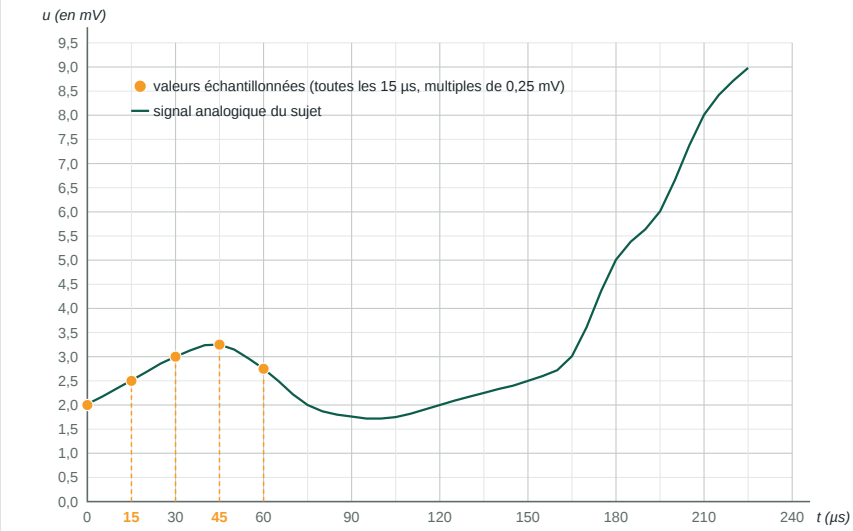
Une mesure est faite toutes les $T_e = 15$ µs : aux dates 0, 15, 30, 45 et 60 µs. À chaque date, la tension lue sur la courbe est remplacée par le multiple de 0,25 mV le plus proche.

- $t = 0$ µs : $u \approx 2{,}0$ mV, valeur retenue 2,00 mV
- $t = 15$ µs : $u \approx 2{,}5$ mV, valeur retenue 2,50 mV
- $t = 30$ µs : $u \approx 3{,}0$ mV, valeur retenue 3,00 mV
- $t = 45$ µs : $u \approx 3{,}25$ mV, valeur retenue 3,25 mV
- $t = 60$ µs : $u \approx 2{,}75$ mV, valeur retenue 2,75 mV

Cinq points sur l'annexe : (0 ; 2,00), (15 ; 2,50), (30 ; 3,00), (45 ; 3,25), (60 ; 2,75), en µs et mV.

PIÈGE
Ne placer des points qu'aux graduations de l'axe (0, 30, 60 µs) : il en faut aussi à 15 et 45 µs. Chaque ordonnée doit être un multiple de 0,25 mV.

MÉTHODE
Numériser, c'est découper deux fois : en temps (échantillonnage, une valeur tous les T_e) puis en tension (quantification, multiples du pas). Le signal numérisé est une suite de points, pas une courbe continue.



3 · Annexe complétée : les cinq valeurs échantillonnées entre 0 et 60 µs

4 Partie B. Proposer une amélioration, avec le même matériel, pour obtenir un signal échantillonné de meilleure qualité.

Le signal ne dépasse pas 10 mV alors que le calibre couvre 1,0 V : seule une très petite partie des 4096 niveaux est utilisée.

En choisissant un calibre plus petit, adapté au signal (par exemple $-10\,\text{mV} / +10\,\text{mV}$ s'il existe), la plage ΔU diminue, donc le pas $p = \dfrac{\Delta U}{2^n}$ aussi : la tension est restituée plus finement.

On peut aussi augmenter la fréquence d'échantillonnage (davantage de points sur la même durée), si le système le permet.

> Choisir le plus petit calibre contenant le signal (pas plus fin) et, si possible, une fréquence d'échantillonnage plus élevée.

COMPRENDRE

Le nombre de bits est imposé par le matériel : il reste deux réglages, le calibre (qui fixe le pas) et la fréquence d'échantillonnage (qui fixe l'écart de temps entre deux mesures).

Spécialité : Des routes qui génèrent de l'électricité

Bac S 2017 Asie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Indiquer pourquoi des panneaux photovoltaïques fixés sur les routes bénéficieront a priori d'un éclairement moindre que ceux fixés sur les toits d'habitation.

Deux raisons se cumulent.

- **L'inclinaison.** Un toit est incliné et peut être orienté vers le sud ; la route est horizontale. D'après le document 3, une surface horizontale reçoit environ 20 % d'énergie solaire en moins.
- **Les ombres.** Les véhicules qui circulent ou stationnent masquent les dalles : selon l'hypothèse de travail, une route à trafic moyen n'est éclairée que 90 % du temps. S'y ajoutent l'ombre des bâtiments et des arbres, et les salissures de la chaussée.

Route horizontale ($-20\ \%$) et en partie masquée par le trafic (éclairée 90 % du temps) : l'éclairement reçu est plus faible que sur un toit.

MÉTHODE

« Selon vous » ne dispense pas de justifier : chaque argument s'appuie sur une information de l'énoncé (ici le document 3 et l'hypothèse de travail), que l'on cite.

2 Calculer la longueur d'onde maximale λ_{max} au-delà de laquelle les photons absorbés ne peuvent plus générer d'électricité. À quel domaine des ondes électromagnétiques appartient-elle ?

Données utiles $E_g = 1{,}12$ eV ; $h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 eV $= 1{,}602 \times 10^{-19}$ J

Un photon de longueur d'onde λ transporte l'énergie $E = \dfrac{h\,c}{\lambda}$.

D'après le document 2, il ne fait passer un électron dans la bande de conduction que si $E \geqslant E_g$, c'est-à-dire $\dfrac{h\,c}{\lambda} \geqslant E_g$, soit $\lambda \leqslant \dfrac{h\,c}{E_g}$. Donc :

$$\lambda_{max} = \frac{h\,c}{E_g} = \frac{6{,}626 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{1{,}12 \times 1{,}602 \times 10^{-19}} = 1{,}11 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

Cette longueur d'onde est supérieure à 800 nm, limite du visible du côté du rouge.

$\lambda_{max} = 1{,}11 \times 10^{-6}\ \text{m} = 1{,}11 \times 10^{3}\ \text{nm}$: domaine de l'**infrarouge**.

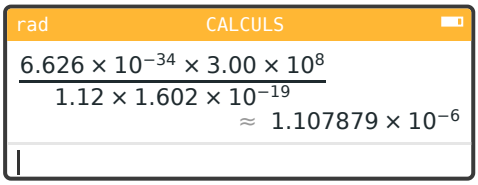
PIÈGE

Laisser E_g en électronvolts : il faut des joules pour obtenir des mètres. Autre erreur : inverser l'inégalité. Une énergie minimale correspond à une longueur d'onde maximale, car E et λ varient en sens inverse.

COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs, comme E_g et c. Les infrarouges au-delà de $1{,}11\ \mu\text{m}$ sont perdus pour la cellule, et l'excédent d'énergie des photons plus énergétiques aussi : d'où un rendement modeste.

À LA CALCULATRICE



3 Évaluer la surface de bitume à équiper de revêtement photovoltaïque pour couvrir la totalité des besoins du pays en électricité. Dire si un tel objectif semble réalisable.

Données utiles production photovoltaïque 2015 : $6{,}7 \times 10^9$ kWh, soit 1,4 % de la consommation ; rendement $R = 15\ \%$; carte du document 3, à minorer de 20 % à l'horizontale ; éclairement 90 % du temps ; routes et parkings : $17\,000\ \text{km}^2$

Besoins annuels du pays. $6{,}7 \times 10^9$ kWh représentent 1,4 % de la consommation :

$$E_{tot} = \frac{6{,}7 \times 10^9}{0{,}014} = 4{,}8 \times 10^{11}\ \text{kWh}$$

Énergie solaire reçue par la route. Sur la carte, les valeurs vont de 3,0 (nord) à 5,2 (sud-est) ; la plus grande partie du territoire se situe entre 3,4 et 4,2. On retient la valeur moyenne $3{,}8\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$.

- Surface horizontale : $0{,}80 \times 3{,}8 = 3{,}0\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$.
- Trafic moyen : $0{,}90 \times 3{,}0 = 2{,}7\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$.

Énergie électrique produite. Avec le rendement $R = 15\ \%$: $E_{élec} = 0{,}15 \times 2{,}7 = 0{,}41\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$.

Sur une année : $E_{an} = 0{,}41 \times 365 = 1{,}5 \times 10^2\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$.

Surface nécessaire.

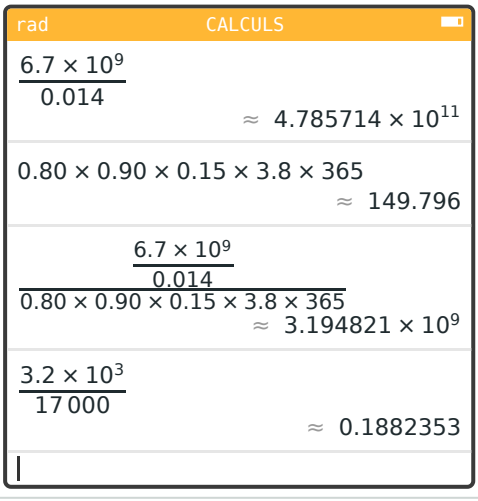
$$S = \frac{E_{tot}}{E_{an}} = \frac{4{,}8 \times 10^{11}}{1{,}5 \times 10^2} = 3{,}2 \times 10^9\ \text{m}^2 = 3{,}2 \times 10^3\ \text{km}^2$$

Regard critique. Cette surface représente $\dfrac{3{,}2 \times 10^3}{17\,000} \approx 0{,}19$, soit environ 19 % des routes et parkings du pays : la place ne manque pas. L'objectif reste pourtant peu réaliste :

- le chantier serait immense : les 1000 km de routes annoncés, pour une largeur de quelques mètres, ne font que quelques km^2, près de mille fois moins ;
- la production est intermittente (nulle la nuit, faible en hiver, quand la demande est forte) : il faudrait stocker l'énergie ;
- le coût, le raccordement au réseau et l'usure des dalles ne sont pas pris en compte.

$S \approx 3 \times 10^3\ \text{km}^2$, soit environ 19 % des $17\,000\ \text{km}^2$ de routes et parkings : possible en surface, peu réaliste en pratique (ampleur du chantier, intermittence, coût).

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Diviser une énergie annuelle par une énergie journalière : la carte est en kWh par m^2 et par jour, il faut multiplier par 365. Pour la conversion, $1\ \text{km}^2 = 10^6\ \text{m}^2$, et non 10^3.

COMPRENDRE

La valeur lue sur la carte est une estimation : avec 3,5 ou 4,0 on trouve entre $3{,}0 \times 10^3$ et $3{,}5 \times 10^3\ \text{km}^2$. Seul l'ordre de grandeur compte, et la conclusion ne change pas.

COMPRENDRE

Ce type de résolution de problème n'existe plus sous cette forme à l'épreuve actuelle ; l'énergie du photon et le rendement d'une cellule photovoltaïque restent au programme de spécialité.