Corrigé complet — Bac S 2016 Amérique du Nord (ancien programme)

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

Ex 1	**À propos de l'acide fumarique** Stéréoisomérie Z/E · Liaisons hydrogène et polarité · Acides et bases de Brönsted · Diagramme de prédominance · Titrage pH-métrique · Incertitudes de mesure	10 pts	1 h 40	19 questions	p. 2
Ex 2	**Détection et habitabilité d'une exoplanète** Effet Doppler · Lecture d'une période · Lois de Kepler · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme · Zone d'habitabilité	5 pts	50 min	8 questions	p. 10
Ex 3	**La télévision numérique : émission, transmission et réception.** Longueur d'onde et fréquence · Diffraction · Signal analogique ou numérique · Atténuation d'un câble · Codage RVB · Débit binaire	5 pts	50 min	8 questions	p. 14
Ex 4	**Spécialité : Installation d'un home cinéma** Acoustique d'une salle · Temps de réverbération · Formule de Sabine · Coefficient d'absorption · Lecture d'une échelle logarithmique · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 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.

A propos de l'acide fumarique

Bac S 2016 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

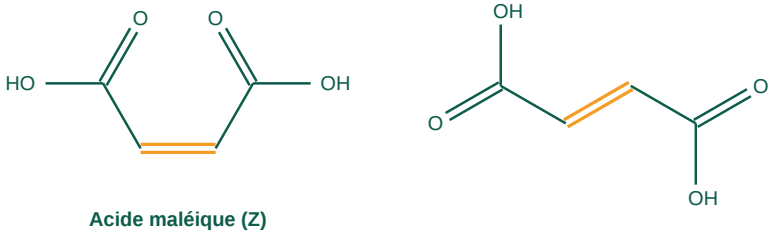
1.1 Représenter les formules topologiques de l'acide fumarique et de l'acide maléique en faisant apparaître ce qui les distingue.

Les deux noms ne diffèrent que par les lettres (Z) et (E) : seule la disposition des groupes autour de la double liaison $C{=}C$ change.

- Acide maléique (Z) : les deux groupes $-COOH$ sont du même côté de la double liaison.
- Acide fumarique (E) : ils sont de part et d'autre de la double liaison.

Même enchaînement d'atomes ; configuration Z pour l'acide maléique, E pour l'acide fumarique (voir figure).

MÉTHODE
Z vient de *zusammen* (ensemble) : les deux groupes sont du même côté de $C{=}C$. E vient de *entgegen* (opposé). La formule du sujet, en zigzag régulier, est bien la forme E.



Acide maléique (Z)
groupes –COOH du même côté

Acide fumarique (E)
groupes –COOH de part et d'autre

1.1 · Les deux stéréoisomères : seule la disposition autour de la double liaison C=C (en orange) change

1.2 Ces deux stéréoisomères sont-ils des énantiomères ou des diastéréoisomères ? Justifier.

Les deux molécules ont la même formule semi-développée mais des dispositions spatiales différentes, et on ne passe pas de l'une à l'autre par rotation autour d'une liaison simple : ce sont des stéréoisomères de configuration.

Elles ne sont pas images l'une de l'autre dans un miroir plan (aucune ne possède d'ailleurs de carbone asymétrique) : ce ne sont pas des énantiomères.

L'acide maléique et l'acide fumarique sont des **diastéréoisomères** (isomérie Z/E).

PIÈGE
Répondre « diastéréoisomères » sans écarter les énantiomères. La justification attendue tient en deux temps : stéréoisomères de configuration, puis absence de relation d'image dans un miroir plan.

COMPRENDRE
Les notions d'énantiomérie et de diastéréoisomérie appartenaient au programme de Terminale S. Elles ne figurent plus au programme actuel de spécialité, qui se limite à l'isomérie de constitution.

1.3 Peut-on différencier expérimentalement les deux stéréoisomères dans un laboratoire de lycée ? Justifier et décrire une expérience possible.

Données utiles solubilité dans l'eau à 25 °C : $780\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (maléique), $6{,}3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (fumarique) ; températures de fusion : 131 °C et 287 °C

Oui : des diastéréoisomères ont des propriétés physiques différentes. D'après le tableau, la solubilité dans l'eau et la température de fusion des deux acides sont très éloignées.

Expérience possible (test de solubilité) : introduire environ 1 g de chaque solide dans un tube à essai contenant 10 mL d'eau distillée, puis agiter. Cela correspond à $100\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur comprise entre les deux solubilités.

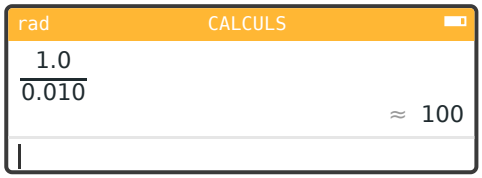
- Le solide qui se dissout entièrement est l'acide maléique.
- Celui qui laisse un dépôt blanc est l'acide fumarique.

Oui : un test de solubilité dans l'eau (ou une mesure de température de fusion au banc Kofler) permet de les distinguer.

COMPRENDRE

Au banc Kofler, seul l'acide maléique fond (131 °C). L'appareil ne dépasse guère 260 °C : l'acide fumarique y reste solide, ce qui suffit aussi à l'identifier.

À LA CALCULATRICE



1.4.1 Expliquer, à l'aide de schémas, pourquoi l'acide fumarique ne donne que des liaisons hydrogène intermoléculaires alors que l'acide maléique peut donner des liaisons intermoléculaires et intramoléculaires.

Données utiles électronégativités : H : 2,2 ; C : 2,6 ; O : 3,4 ; liaison polarisée si l'écart dépasse 0,5

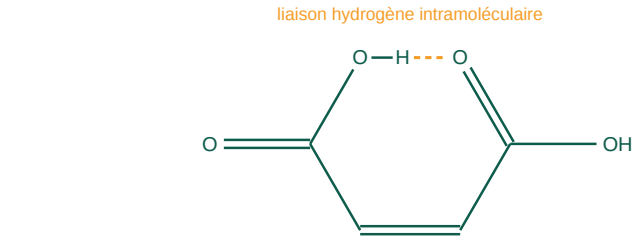
La liaison $\text{O}-\text{H}$ est polarisée : $3{,}4 - 2{,}2 = 1{,}2 > 0{,}5$. L'atome H d'un groupe $-\text{COOH}$ peut donc établir une liaison hydrogène avec un atome d'oxygène, très électronégatif et porteur de doublets non liants.

- Acide maléique (Z) : les deux groupes $-\text{COOH}$ sont du même côté de la double liaison, donc proches. Le H de l'un peut se lier à un O de l'autre, dans la même molécule : liaison intramoléculaire. Les autres sites restent disponibles pour des liaisons avec des molécules voisines.
- Acide fumarique (E) : les deux groupes sont de part et d'autre de la double liaison, trop éloignés l'un de l'autre. Chaque groupe ne peut se lier qu'à une autre molécule.

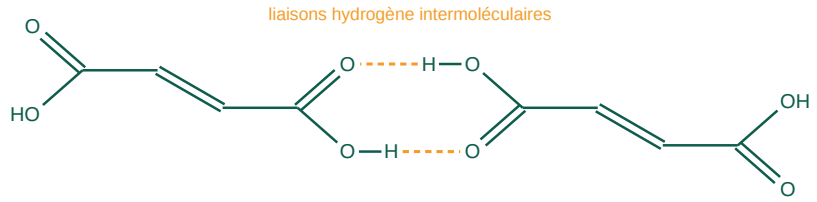
Maléique : liaisons hydrogène intramoléculaires et intermoléculaires ; fumarique : liaisons intermoléculaires seulement.

COMPRENDRE

La double liaison $\text{C}=\text{C}$ interdit toute rotation : les groupes de l'acide fumarique ne peuvent pas se rapprocher. Une liaison $\text{C}-\text{H}$ n'est pas concernée, car elle n'est pas polarisée ($2{,}6 - 2{,}2 = 0{,}4 < 0{,}5$).



Acide maléique (Z) : les deux groupes sont voisins



Acide fumarique (E) : groupes trop éloignés dans une même molécule

1.4.1 · Liaisons hydrogène (pointillés orange) dans les deux acides

1.4.2 En déduire pourquoi les températures de fusion des deux acides sont différentes.

Données utiles températures de fusion : 131 °C (maléique), 287 °C (fumarique)

Faire fondre un solide moléculaire, c'est rompre des interactions entre molécules voisines, ici des liaisons hydrogène intermoléculaires. Les liaisons intramoléculaires ne participent pas à la cohésion du solide.

Dans l'acide maléique, une partie des sites est mobilisée par la liaison intramoléculaire : chaque molécule établit moins de liaisons avec ses voisines que dans l'acide fumarique, où tous les sites servent à des liaisons intermoléculaires.

La cohésion du solide est plus faible pour l'acide maléique : il fond à une température plus basse (131 °C contre 287 °C).

PIÈGE
Écrire que la fusion casse la molécule ou ses liaisons intramoléculaires. Lors d'un changement d'état, les molécules restent intactes ; seules les interactions entre molécules sont rompues.

1.5 Indiquer, en le justifiant, si l'eau est un solvant polaire ou apolaire.

Données utiles électronégativités : H : 2,2 ; O : 3,4

Dans la molécule H_2O, chaque liaison $O-H$ est polarisée ($3{,}4 - 2{,}2 = 1{,}2 > 0{,}5$) : l'atome O porte une charge partielle négative $2\delta^-$, chaque atome H une charge partielle positive δ^+.

La molécule est coudée : le centre des charges partielles positives, situé entre les deux atomes H, ne coïncide pas avec celui des charges négatives, situé sur l'atome O.

La molécule d'eau est polaire : l'eau est un solvant **polaire**.

PIÈGE
Des liaisons polarisées ne suffisent pas : il faut aussi invoquer la géométrie. Dans CO_2, linéaire, les liaisons sont polarisées mais la molécule est apolaire.

1.6 L'acide maléique est polaire, l'acide fumarique apolaire. Proposer une explication à la différence de solubilité dans l'eau de ces deux stéréoisomères.

Données utiles solubilités : $780\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (maléique), $6{,}3\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (fumarique) ; eau : solvant polaire (1.5)

Une espèce moléculaire est d'autant plus soluble dans un solvant que ses molécules ressemblent à celles du solvant : une espèce polaire se dissout bien dans un solvant polaire.

L'eau est polaire (1.5). L'acide maléique, polaire, interagit fortement avec les molécules d'eau. L'acide fumarique, apolaire, interagit beaucoup moins avec elles.

L'acide maléique, polaire, est très soluble dans l'eau ; l'acide fumarique, apolaire, l'est très peu.

COMPRENDRE
Autre argument allant dans le même sens : dans l'acide fumarique solide, les nombreuses liaisons hydrogène entre molécules (1.4.2) rendent leur séparation par l'eau plus difficile.

2.1 Décrire précisément le protocole pour réaliser la solution (500 mg d'acide fumarique dans 100,0 mL).

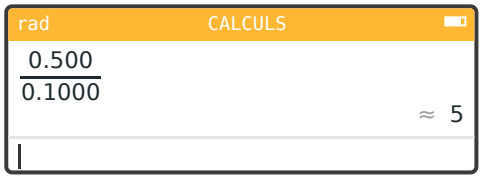
Il s'agit d'une dissolution. Le solide étant irritant, on porte blouse, gants et lunettes.

- Peser $0{,}500$ g d'acide fumarique dans une coupelle, avec une balance au milligramme préalablement tarée.
- Verser le solide dans une fiole jaugée (100,0 mL) à l'aide d'un entonnoir ; rincer la coupelle et l'entonnoir à l'eau distillée en récupérant l'eau de rinçage dans la fiole.
- Remplir la fiole aux deux tiers environ d'eau distillée, boucher, agiter jusqu'à dissolution complète du solide.
- Compléter à l'eau distillée, goutte à goutte en fin d'ajout, jusqu'au trait de jauge (bas du ménisque), boucher, puis retourner plusieurs fois pour homogénéiser.

Pesée de 0,500 g, fiole jaugée de 100,0 mL, dissolution, ajustement au trait de jauge, homogénéisation.

COMPRENDRE
La dissolution est possible mais lente : la solution contient $5{,}00\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide, valeur proche de la solubilité ($6{,}3\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). Il faut agiter longtemps avant de compléter.

À LA CALCULATRICE



2.2 Rappeler la définition d'un acide au sens de Brönsted.

Un acide au sens de Brönsted est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs ions hydrogène H^+ (protons).

COMPRENDRE
À l'inverse, une base est une espèce capable de capter un ion H^+. Un acide et la base qu'il forme en cédant H^+ constituent un couple acide/base.

2.3 Expliquer pourquoi la molécule d'acide fumarique est qualifiée de diacide.

La molécule possède deux groupes carboxyle $-\text{COOH}$. Chacun peut céder un ion H^+ : la molécule AH_2 donne d'abord AH^-, puis A^{2-}.

L'acide fumarique peut céder deux ions H^+ par molécule : c'est un diacide, auquel correspondent les couples AH_2/AH^- et $\text{AH}^-/\text{A}^{2-}$.

COMPRENDRE
Le tableau le confirme : deux $\text{p}K_A$ sont donnés, un par couple. Les H liés aux atomes de carbone ne sont pas acides.

2.4 Calculer la concentration molaire C_A apportée de l'acide fumarique dans la solution préparée.

Données utiles $m = 500$ mg ; $V = 100{,}0$ mL ; $M = 116$ g · mol^{-1}

Quantité de matière dissoute : $n = \dfrac{m}{M}$, d'où

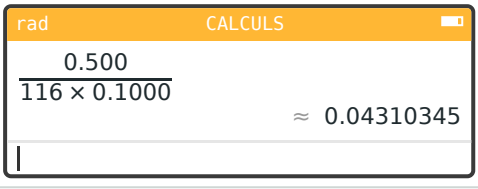
$$C_A = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \times V} = \frac{0{,}500}{116 \times 0{,}1000}$$

$C_A = 4{,}31 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1}

PIÈGE
Laisser la masse en mg ou le volume en mL : M est en g · mol^{-1}, il faut $m = 0{,}500$ g et $V = 0{,}1000$ L.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise (500 mg et 116 g · mol^{-1}). Un résultat ne peut pas être plus précis que les données utilisées.

À LA CALCULATRICE



2.5 Un diacide fort de concentration molaire C a un pH $= -\log(2C)$. L'acide fumarique est-il un diacide fort ?

Données utiles $C_A = 4{,}31 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} (2.4) ; pH mesuré : 2,4

Si l'acide fumarique était un diacide fort, le pH de la solution serait :

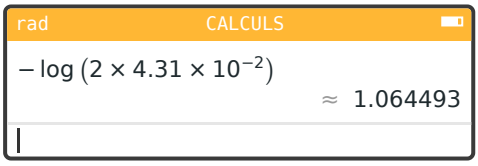
$$\text{pH} = -\log(2\,C_A) = -\log(2 \times 4{,}31 \times 10^{-2}) = 1{,}1$$

Le pH mesuré vaut 2,4 : il est nettement supérieur. La solution contient donc moins d'ions H_3O^+ que si les deux acidités étaient totalement dissociées.

$\text{pH}_{\text{mesuré}} = 2{,}4 > 1{,}1$: l'acide fumarique n'est pas un diacide fort, c'est un diacide faible.

COMPRENDRE
Résultat attendu : les acides carboxyliques sont des acides faibles, leur réaction avec l'eau n'est pas totale. Les deux pK_A du tableau caractérisent d'ailleurs des couples d'acides faibles.

À LA CALCULATRICE



2.6 Durant la digestion, le pH de l'estomac est voisin de 2. En déduire sous quelle forme se trouve l'acide fumarique dans l'estomac.

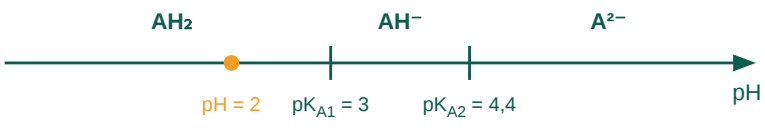
Données utiles $pK_{A1}(AH_2/AH^-) = 3$; $pK_{A2}(AH^-/A^{2-}) = 4{,}4$

Pour un couple acide/base, l'acide prédomine lorsque pH $< pK_A$. On en déduit le diagramme de prédominance : AH_2 pour pH < 3, AH^- entre 3 et 4,4, A^{2-} pour pH $> 4{,}4$.

Dans l'estomac, pH $\approx 2 < pK_{A1} = 3$.

Dans l'estomac, l'acide fumarique se trouve majoritairement sous sa forme acide AH_2.

MÉTHODE
Tracer un axe de pH, y placer les pK_A par ordre croissant, puis écrire les espèces de la plus acide (à gauche) à la plus basique (à droite). Il reste à situer le pH étudié.



2.6 · Diagramme de prédominance de l'acide fumarique

3.1 Avec quelle verrerie doit-on effectuer le prélèvement de la solution titrée ?

Données utiles $V_A = 10{,}0\ \text{mL}$

Le volume V_A intervient dans le calcul de la masse : il doit être mesuré avec précision.

On utilise une pipette jaugée de 10,0 mL munie d'une propipette (ou d'un pipeteur).

COMPRENDRE
La pipette graduée ($\pm 0{,}2$ mL) est deux fois moins précise que la pipette jaugée ($\pm 0{,}1$ mL) ; une éprouvette le serait encore moins.

3.2 Schématiser et légender le dispositif expérimental réalisé.

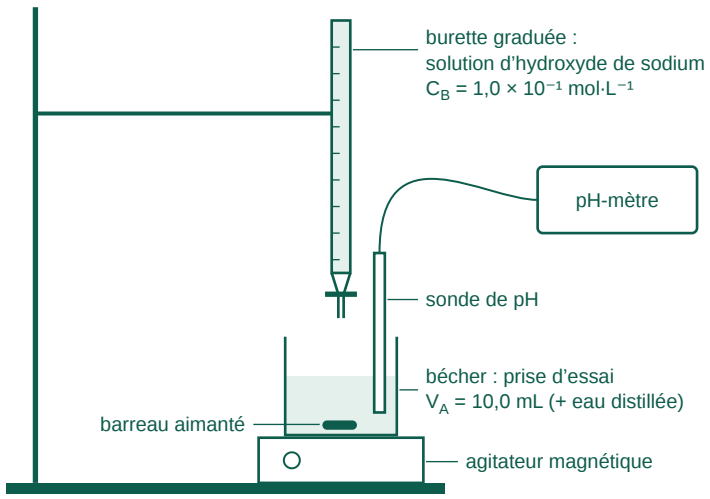
Le schéma doit comporter :

- la burette graduée contenant la solution titrante d'hydroxyde de sodium, de concentration C_B ;
- le bécher contenant la prise d'essai $V_A = 10{,}0$ mL de solution titrée ;
- l'agitateur magnétique et son barreau aimanté ;
- le pH-mètre et sa sonde, qui plonge dans la solution.

Montage de titrage pH-métrique : voir la figure.

PIÈGE
Inverser les deux solutions. La solution titrante, de concentration connue, est dans la burette ; la solution titrée est dans le bécher.

COMPRENDRE
On ajoute de l'eau distillée dans le bécher pour immerger la sonde. Cet ajout ne change pas la quantité d'acide présente, donc pas le volume à l'équivalence.



3.2 · Dispositif du titrage pH-métrique

3.3 Déterminer, en explicitant la démarche, la valeur expérimentale m_{exp} de la masse d'acide fumarique contenue dans une gélule.

Données utiles $C_B = 1{,}0 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_A = 10{,}0\ \text{mL}$; $V = 100{,}0\ \text{mL}$; $M = 116\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Volume à l'équivalence : par la méthode des tangentes parallèles, on lit sur la courbe $V_E = 8{,}4$ mL.

À l'équivalence, les quantités de réactifs apportées respectent les proportions stœchiométriques de l'équation $\text{AH}_2 + 2\,\text{HO}^- \longrightarrow \text{A}^{2-} + 2\,\text{H}_2\text{O}$:

$$n(\text{AH}_2)_{\text{titré}} = \frac{n(\text{HO}^-)_{\text{versé}}}{2} = \frac{C_B \times V_E}{2}$$

La prise d'essai ne représente qu'un dixième de la solution préparée avec la gélule ($V/V_A = 10$), donc :

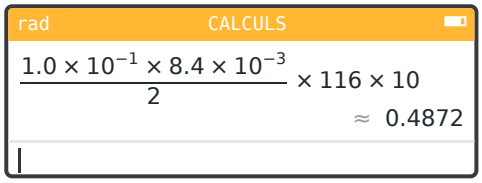
$$m_{\text{exp}} = \frac{C_B \times V_E}{2} \times M \times \frac{V}{V_A} = \frac{1{,}0 \times 10^{-1} \times 8{,}4 \times 10^{-3}}{2} \times 116 \times 10$$

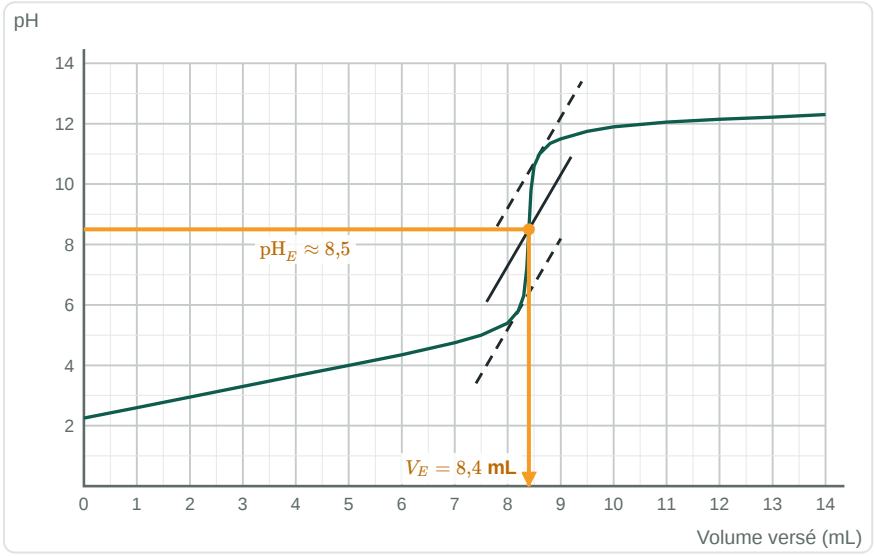
$m_{\text{exp}} = 0{,}49$ g, soit environ 490 mg d'acide fumarique par gélule.

PIÈGE
Oublier le coefficient 2 de HO^- (masse doublée), ou oublier le facteur 10 entre la prise d'essai et la solution entière (masse dix fois trop faible).

MÉTHODE
Tangentes parallèles : tracer deux tangentes parallèles de part et d'autre du saut de pH, puis la parallèle à égale distance des deux. Elle coupe la courbe au point d'équivalence.

À LA CALCULATRICE





3.3 · Courbe du sujet : méthode des tangentes parallèles

3.4 Quelle source d'erreur apporte la plus grande contribution à l'incertitude associée au résultat expérimental ?

Données utiles $U(V_A) = 0{,}1$ mL (pipette jaugée) ; $U(V_E) = 0{,}1$ mL (burette) ; $U(C_B) = 0{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 8{,}4$ mL (3.3)

On compare les incertitudes relatives, qui interviennent chacune au carré dans la relation donnée :

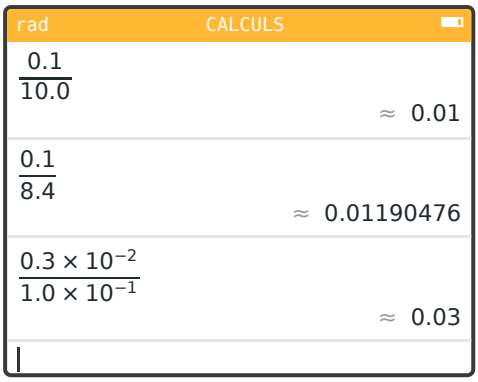
- prise d'essai : $\dfrac{U(V_A)}{V_A} = \dfrac{0{,}1}{10{,}0} = 1{,}0\ \%$;
- volume équivalent : $\dfrac{U(V_E)}{V_E} = \dfrac{0{,}1}{8{,}4} = 1{,}2\ \%$;
- concentration : $\dfrac{U(C_B)}{C_B} = \dfrac{0{,}3 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-1}} = 3\ \%$.

La concentration C_B de la solution d'hydroxyde de sodium est la principale source d'incertitude (3 %).

PIÈGE
Comparer les incertitudes absolues : 0,1 mL et $0{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ n'ont pas la même unité. Seuls les rapports sans unité se comparent.

COMPRENDRE
Même avec une pipette graduée ($0{,}2/10{,}0 = 2\ \%$), la concentration C_B resterait le terme dominant.

À LA CALCULATRICE



3.5 Donner un encadrement de la masse m_{exp} d'acide fumarique contenue dans une gélule dans le cas d'un prélèvement à la pipette jaugée. Commenter.

Données utiles $m_{\text{exp}} = 0{,}487$ g (3.3, valeur non arrondie) ; incertitudes relatives : 1,0 %, 1,2 % et 3 % (3.4) ; étiquette du flacon : 500 mg par gélule

$$U(m_{\text{exp}}) = m_{\text{exp}} \times \sqrt{\left(\frac{U(V_A)}{V_A}\right)^2 + \left(\frac{U(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{U(C_B)}{C_B}\right)^2}$$

$$U(m_{\text{exp}}) = 0{,}487 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{10{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{8{,}4}\right)^2 + \left(\frac{0{,}3 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-1}}\right)^2} = 0{,}016 \text{ g}$$

On arrondit l'incertitude par excès à un chiffre significatif : $U(m_{\text{exp}}) = 0{,}02$ g, d'où $m_{\text{exp}} = (0{,}49 \pm 0{,}02)$ g.

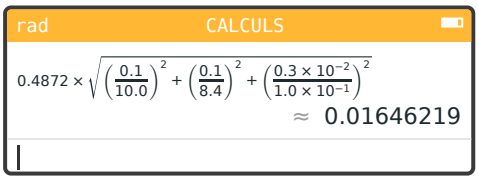
L'étiquette du flacon indique 500 mg, soit 0,50 g par gélule : cette valeur appartient à l'intervalle trouvé.

$0{,}47 \text{ g} \leqslant m_{\text{exp}} \leqslant 0{,}51 \text{ g}$: le résultat est compatible avec les 500 mg annoncés, le contrôle qualité est satisfaisant.

PIÈGE
Garder trop de chiffres. L'incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif, arrondie par excès, et la masse s'arrête au même rang : $0{,}49 \pm 0{,}02$ g.

COMPRENDRE
La valeur de référence n'est donnée que par la photographie du flacon (« 500 mg »). Le programme actuel note l'incertitude-type u et compare avec le quotient $|m_{\text{exp}} - m_{\text{réf}}|/u(m)$; la démarche reste la même.

À LA CALCULATRICE



3.6 Parmi les trois indicateurs colorés proposés, lequel est le plus approprié pour effectuer le titrage de l'acide fumarique ? Justifier.

Données utiles zones de virage : hélianthine 3,1 – 4,4 ; rouge de crésol 7,2 – 8,8 ; jaune d'alizarine R 10,1 – 12,1

Un indicateur coloré convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence.

Sur la courbe, pour $V_E = 8{,}4$ mL, on lit $\text{pH}_E \approx 8{,}5$. Cette valeur appartient à l'intervalle 7,2 – 8,8.

Le rouge de crésol est l'indicateur adapté : la solution passe du jaune au rouge à l'équivalence.

COMPRENDRE
Le saut de pH s'étend d'environ 6 à 11. L'hélianthine virerait bien avant l'équivalence (entre 2 et 6 mL versés environ). Le jaune d'alizarine R ne commencerait à virer qu'en fin de saut et changerait de teinte trop progressivement.

Détection et habitabilité d'une exoplanète

Bac S 2016 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Quelles mesures, réalisées à l'observatoire de Haute-Provence, ont permis de tracer la courbe du document 2 ? Expliquer la démarche des chercheurs.

Données utiles $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$ avec $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{\text{mesurée}}$; $\lambda = 656{,}2$ nm

Les chercheurs ont enregistré le spectre de raies de l'étoile pendant plusieurs nuits. Sur chaque spectre, ils ont mesuré la longueur d'onde $\lambda_{\text{mesurée}}$ d'une raie dont la valeur de référence λ est connue.

Ils ont alors calculé le décalage spectral $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{\text{mesurée}}$, puis la vitesse radiale de l'étoile à cette date grâce à l'effet Doppler :

$$v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

En reportant chaque vitesse en fonction de la date de la mesure, ils ont obtenu les points du document 2, puis la courbe modélisée.

Mesures : les longueurs d'onde des raies du spectre de l'étoile, nuit après nuit ; on en déduit $v = c \times \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ à chaque date.

PIÈGE
Répondre « ils ont mesuré la vitesse ». La vitesse n'est pas mesurée directement : la grandeur mesurée est une longueur d'onde, la vitesse est calculée.

COMPRENDRE
Quand l'étoile se rapproche de la Terre, la raie est perçue à une longueur d'onde plus courte (décalage vers le bleu) ; quand elle s'éloigne, à une longueur d'onde plus grande (vers le rouge). Le décalage oscille donc au rythme de l'orbite.

1.2 Déterminer la période de révolution de l'étoile du système HD 189733 ainsi que celle de l'exoplanète.

Données utiles document 2 : courbe de la vitesse radiale entre les dates 2454300 et 2454310 (en jours)

Sur le document 2, la courbe part d'un minimum à la date 2454300 et arrive à un maximum à la date 2454310 : elle décrit 4,5 périodes en 10 jours.

$$T = \frac{10}{4{,}5} = 2{,}2 \text{ jours}$$

soit $T = 2{,}22 \times 24 \times 3600 = 1{,}92 \times 10^5$ s (valeur gardée pour la suite).

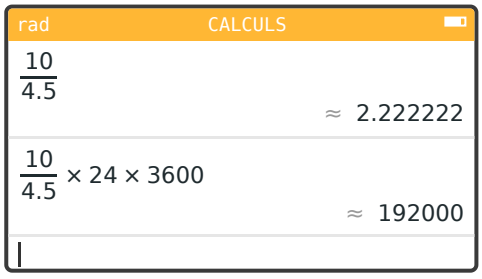
D'après le document 1, la période du mouvement de l'étoile est aussi celle de la planète.

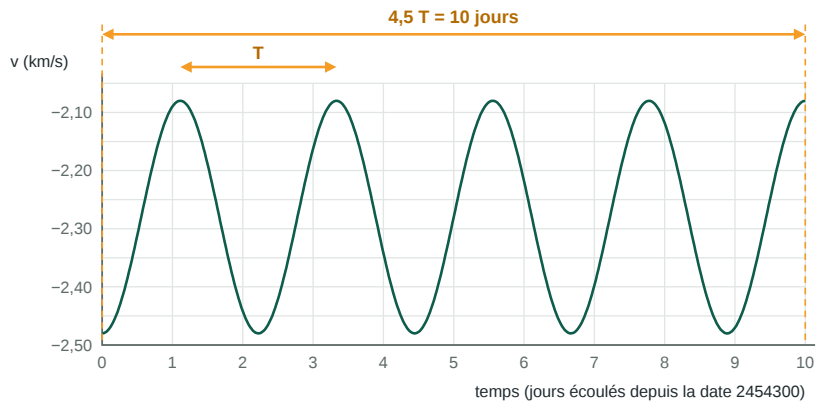
$T_{\text{étoile}} = T_{\text{planète}} \approx 2{,}2 \text{ jours} \approx 1{,}9 \times 10^5 \text{ s}$

COMPRENDRE
Une lecture graphique donne deux chiffres significatifs : on annonce 2,2 jours. On garde un chiffre de plus dans les calculs suivants pour ne pas cumuler les arrondis.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes d'un coup, sur toute la largeur du graphe, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur 4,5 périodes au lieu d'une seule.

À LA CALCULATRICE





1.2 · Document 2 reproduit : entre les dates 2454300 (minimum) et 2454310 (maximum), la courbe décrit 4,5 périodes

1.3 Quelle est la nature de la trajectoire de l'exoplanète autour du centre de gravité G ?

La courbe du document 2 est une sinusoïde : les variations de la vitesse radiale sont régulières et symétriques, sans « pics ».

D'après le document 1, cette forme correspond à une orbite circulaire.

La trajectoire de l'exoplanète autour de G est un **cercle**.

PIÈGE
Dire que la trajectoire est une sinusoïde. La sinusoïde est la courbe de la vitesse en fonction du temps, pas le chemin suivi par la planète.

1.4 Le centre de gravité G étant confondu avec le centre de l'étoile, montrer que le mouvement de l'exoplanète est nécessairement uniforme.

Deuxième loi de Kepler (loi des aires) : le segment qui relie le centre de l'étoile à la planète balaie des aires égales pendant des durées égales.

La trajectoire est un cercle centré sur l'étoile (1.3) : le segment garde une longueur constante R. Deux aires égales balayées correspondent alors à deux arcs de même longueur L.

Pendant des durées égales Δt, la planète parcourt donc des distances égales : sa vitesse $v = \dfrac{L}{\Delta t}$ garde la même valeur.

La valeur de la vitesse est constante : le mouvement de l'exoplanète est circulaire **uniforme**.

PIÈGE
Uniforme ne veut pas dire « vecteur vitesse constant ». Seule la valeur de la vitesse est constante ; sa direction change à chaque instant.

COMPRENDRE
Autre démonstration possible : la force gravitationnelle est dirigée vers le centre du cercle, donc l'accélération n'a pas de composante tangentielle, $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$. C'est le calcul mené à la question 2.2.

2.1 Énoncer la troisième loi de Kepler.

Pour toutes les planètes en orbite autour d'une même étoile, le carré de la période de révolution T est proportionnel au cube du demi-grand axe a de l'orbite.

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$$

COMPRENDRE
La constante est la même pour tous les corps qui tournent autour du même astre : elle ne dépend que de la masse de cet astre. Pour une orbite circulaire, a est le rayon R.

2.2 Montrer, avec la deuxième loi de Newton et en explicitant les différents termes, que pour une trajectoire circulaire cette loi s'écrit $\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G\,M}$.

Système {exoplanète}, de masse m constante ; référentiel lié au centre de l'étoile, supposé galiléen. Seule force : l'attraction gravitationnelle de l'étoile de masse M, dirigée vers le centre de l'étoile.

Dans le repère de Frenet $(\vec{u}_N, \vec{u}_T)$ lié à la planète, $\vec{u}_N$ pointant vers l'étoile : $\vec{F} = \frac{G\,m\,M}{R^2}\,\vec{u}_N$, où R est le rayon de l'orbite.

Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \frac{G\,M}{R^2}\,\vec{u}_N$.

Or, pour un mouvement circulaire : $\vec{a} = \frac{v^2}{R}\,\vec{u}_N + \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_T$.

Par identification selon $\vec{u}_N$: $\frac{v^2}{R} = \frac{G\,M}{R^2}$, soit $v^2 = \frac{G\,M}{R}$.

Le mouvement est uniforme : la planète parcourt le périmètre $2\pi R$ pendant la période T, donc $v = \frac{2\pi R}{T}$.

$$\frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \frac{G\,M}{R} \quad \text{d'où} \quad T^2 = \frac{4\pi^2 R^3}{G\,M}$$

$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{G\,M}$: c'est bien la relation attendue.

PIÈGE
La masse m de la planète se simplifie : dans la constante, M est la masse de l'astre attracteur, ici l'étoile, pas celle de la planète.

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : système, référentiel, force ; deuxième loi de Newton ; accélération dans le repère de Frenet ; identification pour obtenir v ; puis $v = \frac{2\pi R}{T}$ pour faire apparaître la période.

2.3 En déduire la distance moyenne entre la planète et l'étoile.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$; $M = 0{,}82 \times M_0$ avec $M_0 = 1{,}989 \times 10^{30}$ kg ; $T = 1{,}92 \times 10^5$ s (1.2)

Masse de l'étoile : $M = 0{,}82 \times 1{,}989 \times 10^{30} = 1{,}63 \times 10^{30}$ kg.

D'après 2.2 : $R^3 = \frac{G\,M\,T^2}{4\pi^2}$, soit $R = \sqrt[3]{\frac{G\,M\,T^2}{4\pi^2}}$

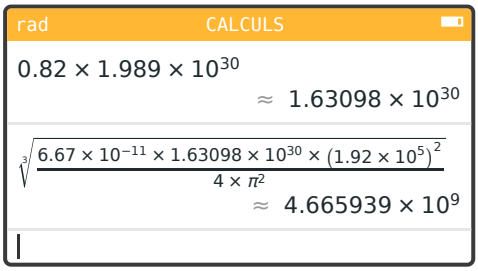
$$R = \sqrt[3]{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}63 \times 10^{30} \times (1{,}92 \times 10^5)^2}{4\pi^2}}$$

$R = 4{,}7 \times 10^9$ m, soit environ 4,7 millions de kilomètres.

PIÈGE
Laisser T en jours : la période doit être en secondes pour obtenir R en mètres. Autre oubli fréquent : le facteur 0,82 devant la masse du Soleil.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la période lue sur le graphe et le facteur 0,82.

À LA CALCULATRICE



2.4 La planète du système HD 189733 appartient-elle à la zone d'habitabilité ?

Données utiles $1\ \text{U.A.} = 1{,}50 \times 10^8$ km ; zone d'habitabilité du Soleil : de 0,723 U.A. (Vénus) à 1,52 U.A. (Mars) ; $R = 4{,}67 \times 10^9$ m (2.3)

Conversion : $1\ \text{U.A.} = 1{,}50 \times 10^{11}$ m, donc

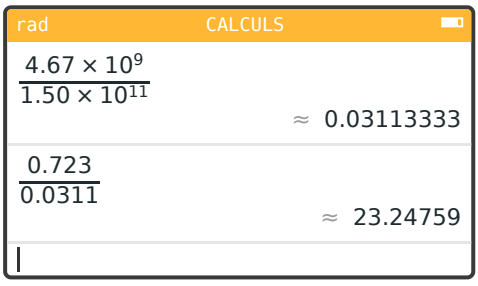
$$R = \frac{4{,}67 \times 10^9}{1{,}50 \times 10^{11}} = 0{,}031\ \text{U.A.}$$

L'étoile a des caractéristiques proches de celles du Soleil (document 2) : sa zone d'habitabilité est voisine de celle du Soleil, entre 0,723 U.A. et 1,52 U.A. environ (document 3).

Or $0{,}031\ \text{U.A.} < 0{,}723\ \text{U.A.}$: la planète est beaucoup trop proche de son étoile. Elle reçoit trop d'énergie pour que l'eau y reste liquide.

$R \approx 0{,}031$ U.A. : l'exoplanète n'appartient **pas** à la zone d'habitabilité.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Comparer des mètres à des unités astronomiques, ou convertir 1 U.A. sans passer des kilomètres aux mètres. Il faut aussi justifier pourquoi on peut reprendre la zone d'habitabilité du Soleil.

COMPRENDRE

La planète est environ 23 fois plus près de son étoile que Vénus ne l'est du Soleil : cela justifie le nom de « Jupiter chaud » donné dans l'introduction.

La télévision numérique : émission, transmission et réception.

Bac S 2016 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Justifier le choix d'une fréquence de 800 MHz pour transmettre l'information.

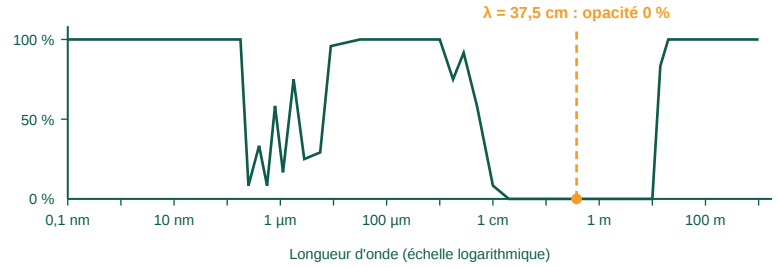
Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f = 800\ \text{MHz} = 800 \times 10^6\ \text{Hz}$; courbe d'opacité de l'atmosphère

La courbe d'opacité est graduée en longueur d'onde : on calcule celle du signal, qui se propage dans l'air à la célérité c.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{800 \times 10^6} = 0{,}375\ \text{m}$$

Sur la courbe, entre 10 cm et 10 m environ, l'opacité de l'atmosphère est de 0 % : une onde de longueur d'onde 37,5 cm n'est pas absorbée.

$\lambda = 0{,}375\ \text{m}$: l'atmosphère est transparente pour cette onde, le signal peut se propager sur de grandes distances.

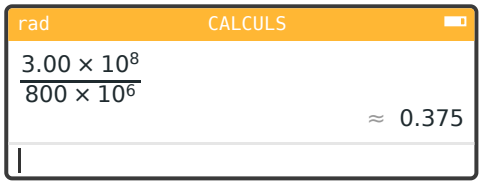


1.1 · Opacité de l'atmosphère (allure de la courbe du sujet) et position du signal à 800 MHz

PIÈGE
Chercher 800 MHz directement sur l'axe : il porte des longueurs d'onde, et son échelle est logarithmique. Convertir aussi les mégahertz en hertz.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c et la fréquence. Une opacité de 100 % signifie que l'atmosphère absorbe totalement le rayonnement : aucune transmission possible à ces longueurs d'onde.

À LA CALCULATRICE



1.2 Expliquer pourquoi la réception reste possible quand l'émetteur relais n'est pas visible depuis l'antenne réceptrice, en faisant intervenir les dimensions des ouvertures des maisons.

Données utiles $\lambda = 0{,}375\ \text{m}$ (1.1)

Le phénomène en jeu est la **diffraction** : en rencontrant une ouverture ou un obstacle, l'onde change de direction de propagation et s'étale derrière lui. Elle atteint ainsi des zones d'où l'émetteur n'est pas visible.

La diffraction est d'autant plus marquée que la dimension a de l'ouverture est proche de la longueur d'onde λ, ou plus petite. Les ouvertures d'une maison (fenêtres, portes) mesurent environ 1 m, soit le même ordre de grandeur que $\lambda = 0{,}375\ \text{m}$.

L'onde est nettement diffractée par les ouvertures et les bords des bâtiments, car $a \approx 1\ \text{m}$ est du même ordre de grandeur que $\lambda \approx 0{,}4\ \text{m}$: elle parvient à l'antenne sans visée directe.

COMPRENDRE
La lumière visible ($\lambda \approx 0{,}5\ \mu\text{m}$) traverse la même fenêtre sans s'étaler de façon perceptible : l'ouverture est deux millions de fois plus grande que sa longueur d'onde.

MÉTHODE
Pour juger si la diffraction compte : comparer les ordres de grandeur de λ et de a. L'écart angulaire vérifie $\theta = \frac{\lambda}{a}$: plus a est petit devant λ, plus l'onde s'étale.

1.3 Vérifier que les chaînes émises par une antenne relais sont reçues quasi simultanément par tous les récepteurs situés à moins de 50 km.

Données utiles $d = 50\ \text{km} = 50 \times 10^3\ \text{m}$; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

L'onde se propage à la célérité c. Le récepteur le plus éloigné, à $d = 50\ \text{km}$, reçoit le signal avec le retard maximal :

$$\tau = \frac{d}{c} = \frac{50 \times 10^3}{3{,}00 \times 10^8} = 1{,}7 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

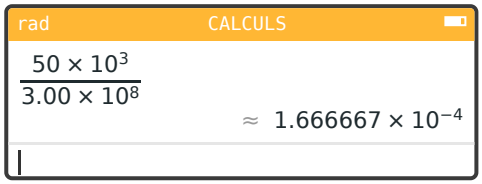
Tous les récepteurs reçoivent donc le signal moins de 0,17 ms après son émission : l'écart de réception entre deux d'entre eux ne peut pas dépasser cette valeur.

Or une image dure $\frac{1}{50}\ \text{s} = 20\ \text{ms}$: le décalage est plus de cent fois plus court, donc imperceptible.

$\tau_{\max} = 1{,}7 \times 10^{-4}\ \text{s} = 0{,}17\ \text{ms}$: la réception est bien quasi simultanée.

PIÈGE
S'arrêter au calcul. « Vérifier » demande de comparer le retard à une durée de référence (durée d'une image, temps de perception) pour conclure.

À LA CALCULATRICE



2.1 Attribuer chacun des schémas (a) et (b) à un signal analogique ou à un signal numérique, en justifiant.

Signal (a) : la grandeur varie de façon continue au cours du temps et prend une infinité de valeurs. C'est un signal **analogique**.

Signal (b) : la grandeur ne prend que deux valeurs (niveau haut, niveau bas) et passe de l'une à l'autre par sauts. C'est un signal **numérique**.

(a) : signal analogique ; (b) : signal numérique.

COMPRENDRE
Les deux niveaux du signal (b) codent les bits 0 et 1. La distinction entre signal analogique et signal numérique ne figure plus au programme actuel de spécialité de Terminale.

2.2 Déterminer la distance maximale entre l'antenne et le téléviseur pour que l'image reste satisfaisante.

Données utiles $P_{\text{entrée}} = 100\ \text{nW}$; $P_{\text{sortie}} \geqslant 20\ \text{nW}$; $\alpha = 0{,}17\ \text{dB} \cdot \text{m}^{-1}$ à 800 MHz ; $A_{\text{dB}} = 10 \log\left(\frac{P_{\text{entrée}}}{P_{\text{sortie}}}\right)$; $\alpha = \frac{A_{\text{dB}}}{L}$

La relation du coefficient d'atténuation, donnée pour une fibre optique, s'applique de la même façon au câble coaxial.

L'image est satisfaisante tant que $P_{\text{sortie}} \geqslant 20\ \text{nW}$. L'atténuation maximale tolérée est donc :

$$A_{\text{dB,max}} = 10 \log\left(\frac{100}{20}\right) = 7{,}0\ \text{dB}$$

Comme $\alpha = \frac{A_{\text{dB}}}{L}$, la longueur maximale du câble est :

$$L_{\max} = \frac{A_{\text{dB,max}}}{\alpha} = \frac{10}{0{,}17} \times \log\left(\frac{100}{20}\right) = 41\ \text{m}$$

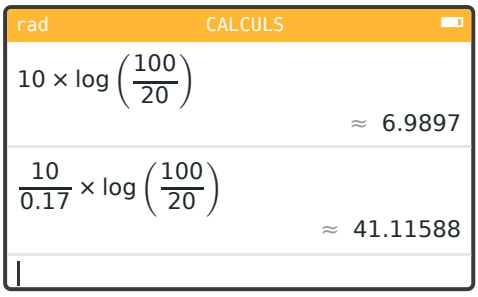
$L_{\max} = 41\ \text{m}$: le téléviseur doit être relié à l'antenne par moins de 41 m de câble.

PIÈGE
Utiliser `ln` au lieu de `log` (logarithme décimal), ou inverser le rapport des puissances : l'atténuation serait négative.

COMPRENDRE
Les deux puissances sont dans la même unité : inutile de convertir les nanowatts. Résultat à deux chiffres significatifs, comme α. Le câble de 100 m ne peut donc pas être utilisé en entier.

COMPRENDRE
Le coefficient d'atténuation d'un câble ou d'une fibre relevait de l'ancien programme ; il n'est plus exigible en spécialité de Terminale.

À LA CALCULATRICE



3.1 Donner, en le justifiant, le codage RVB d'un pixel noir et celui d'un pixel blanc.

Chaque couleur primaire est codée sur 1 octet, soit 8 bits : $2^8 = 256$ valeurs, de 0 (sous-pixel éteint) à 255 (intensité maximale).

Pixel noir : aucune lumière émise, les trois sous-pixels sont éteints.

Pixel blanc : en synthèse additive, la superposition du rouge, du vert et du bleu à leur intensité maximale donne du blanc.

Noir : $(0,\ 0,\ 0)$; blanc : $(255,\ 255,\ 255)$.

PIÈGE
Inverser les deux codages en raisonnant comme avec des peintures. Un écran émet de la lumière : synthèse additive, le blanc s'obtient en allumant tout.

3.2 Déterminer le débit nécessaire pour transmettre les images d'une chaîne HD 1080p/50, en bits par seconde puis en gigabits par seconde.

Données utiles image de 1080 lignes de 1920 pixels ; 50 images par seconde ; 3 octets par pixel ; 1 octet = 8 bits

Nombre de bits par pixel : $3 \times 8 = 24$ bits.

Nombre de pixels par image : $1080 \times 1920 = 2\,073\,600$.

Le débit binaire est le nombre de bits transmis par seconde :

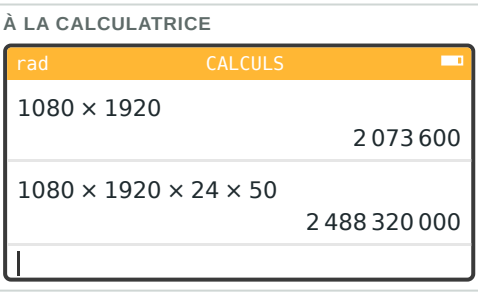
$$D = 1080 \times 1920 \times 24 \times 50 = 2{,}49 \times 10^9 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$$

$D = 2{,}49 \times 10^9 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} = 2{,}49 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Oublier de convertir les 3 octets en 24 bits (résultat 8 fois trop petit), ou prendre 25 images par seconde, valeur du format 1080i/25.

COMPRENDRE
Le préfixe giga vaut 10^9. Le débit binaire et la numérisation des images appartenaient à l'ancien programme de Terminale S ; ils ne sont plus au programme actuel de spécialité.

À LA CALCULATRICE



3.3 Préciser quelle technique permet d'envoyer trois chaînes HD sur un canal de 24 Mbit·s^{-1} alors que cela ne semble pas suffire pour une seule.

Données utiles $D = 2{,}49 \times 10^9$ bit · s^{-1} (3.2) ; canal de 24 Mbit · s^{-1} pour trois chaînes

Chaque chaîne ne dispose que de $\frac{24}{3} = 8$ Mbit · s^{-1}, soit environ 300 fois moins que le débit calculé en 3.2.

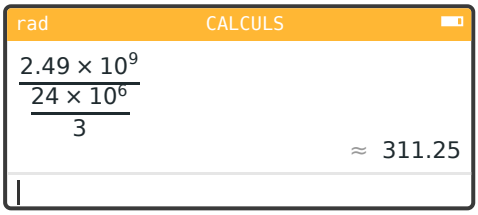
Les données vidéo sont donc **compressées** avant l'émission : un algorithme réduit fortement le nombre de bits à transmettre (par exemple en ne codant que ce qui change d'une image à la suivante), puis le téléviseur décompresse le flux.

La technique utilisée est la compression des données vidéo, qui divise le débit par 300 environ.

COMPRENDRE

Cette compression se fait avec pertes : une partie de l'information, peu perceptible à l'œil, est supprimée. C'est le prix à payer pour un tel facteur de réduction.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Installation d'un home cinéma

Bac S 2016 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Montrer que la pièce ne correspond pas aux critères nécessaires pour avoir l'acoustique d'une salle de cinéma.

Données utiles pièce de $5{,}00\ \text{m} \times 4{,}00\ \text{m} \times 2{,}50\ \text{m}$; porte en bois $0{,}73\ \text{m} \times 2{,}00\ \text{m}$; fenêtre $1{,}20\ \text{m} \times 0{,}95\ \text{m}$; $T = \dfrac{0{,}163\,V}{A}$ avec $A = \sum_i \alpha_i S_i$; documents 1, 2 et 3

Critère. Le critère est le temps de réverbération T, qui doit se trouver dans l'intervalle conseillé par le document 2.

Volume de la pièce : $V = L \times \ell \times h = 5{,}00 \times 4{,}00 \times 2{,}50 = 50{,}0\ \text{m}^3$.

Sur le document 2, pour $V = 50\ \text{m}^3$, on lit : $0{,}15\ \text{s} \leqslant T \leqslant 0{,}25\ \text{s}$.

Choix de la fréquence. Les films sont en français, langue dont la plage principale est centrée sur 1500 Hz (document 1) : on prend les coefficients d'absorption de la colonne 1500 Hz du document 3.

Surfaces.

- Sol (parquet) et plafond (plâtre peint) : $5{,}00 \times 4{,}00 = 20{,}0\ \text{m}^2$ chacun.
- Porte (bois) : $0{,}73 \times 2{,}00 = 1{,}46\ \text{m}^2$; fenêtre (vitrage) : $1{,}20 \times 0{,}95 = 1{,}14\ \text{m}^2$.
- Quatre murs : $2 \times (5{,}00 + 4{,}00) \times 2{,}50 = 45{,}0\ \text{m}^2$, dont plâtre peint : $45{,}0 - 1{,}46 - 1{,}14 = 42{,}4\ \text{m}^2$.
- Plâtre peint au total (murs et plafond) : $42{,}4 + 20{,}0 = 62{,}4\ \text{m}^2$.

Aire d'absorption équivalente (les quatre spectateurs assis comptent pour $0{,}95\ \text{m}^2$ chacun) :

Élément	α_i	S_i (m^2)	$\alpha_i S_i$ (m^2)
Parquet (sol)	0,06	20,0	1,20
Plâtre peint (murs, plafond)	0,03	62,4	1,87
Bois (porte)	0,1	1,46	0,15
Vitrage (fenêtre)	0,9	1,14	1,03
4 personnes assises			$4 \times 0{,}95 = 3{,}80$
Total A			8,04

Temps de réverbération.

$$T = \frac{0{,}163\,V}{A} = \frac{0{,}163 \times 50{,}0}{8{,}04} = 1{,}0\ \text{s}$$

$T \approx 1{,}0\ \text{s}$, soit quatre fois plus que le maximum conseillé ($0{,}25\ \text{s}$) : la pièce réverbère trop, elle ne convient pas en l'état.

PIÈGE

Compter les murs entiers en plâtre : il faut retrancher la porte et la fenêtre, qui ont leur propre coefficient. Pour les spectateurs, le tableau donne directement une aire en m², à multiplier par 4 et non par une surface.

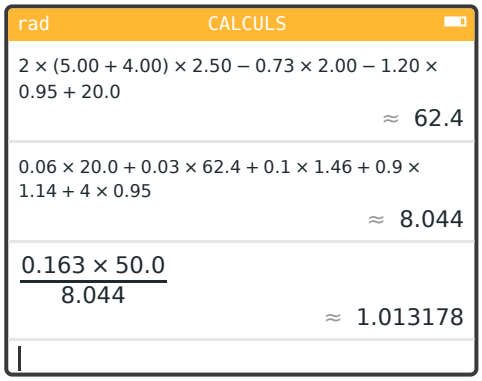
COMPRENDRE

Les coefficients n'ont qu'un ou deux chiffres significatifs : on garde deux chiffres pour T. Le vitrage à 0,9 est sans doute une coquille (0,09) ; avec 0,09 on trouverait $T \approx 1{,}1\ \text{s}$, la conclusion est la même.

COMPRENDRE

L'acoustique des salles relevait du thème « Son et musique » de l'ancien enseignement de spécialité ; le temps de réverbération n'est plus au programme actuel. La démarche (extraire, modéliser, calculer, conclure) reste celle d'une résolution de problème.

À LA CALCULATRICE



2 Proposer une adaptation possible et réaliste de la pièce pour qu'elle réponde aux critères, en validant la proposition par un calcul.

Données utiles $V = 50{,}0\ \text{m}^3$ et intervalle $0{,}15\ \text{s} \leqslant T \leqslant 0{,}25\ \text{s}$ (Q1) ; à 1500 Hz : moquette $0{,}26$; dalle de plafond acoustique $0{,}95$; rideau lourd $0{,}53$

Objectif. Le volume ne change pas : pour diminuer $T = \dfrac{0{,}163\,V}{A}$, il faut augmenter A, donc couvrir les parois de matériaux plus absorbants.

Aire à atteindre : $A = \dfrac{0{,}163\,V}{T}$, d'où

$$\frac{0{,}163 \times 50{,}0}{0{,}25} \leqslant A \leqslant \frac{0{,}163 \times 50{,}0}{0{,}15} \quad \text{soit} \quad 33\ \text{m}^2 \leqslant A \leqslant 54\ \text{m}^2$$

Proposition.

- Sol : moquette posée sur le parquet ($20{,}0\ \text{m}^2$).
- Plafond : dalles acoustiques collées ($20{,}0\ \text{m}^2$).
- Mur de la fenêtre : rideau lourd sur toute sa surface, $5{,}00 \times 2{,}50 = 12{,}5\ \text{m}^2$; il cache la fenêtre et fait l'obscurité.
- Les trois autres murs restent en plâtre peint : $45{,}0 - 12{,}5 - 1{,}46 = 31{,}0\ \text{m}^2$; la porte reste dégagée.

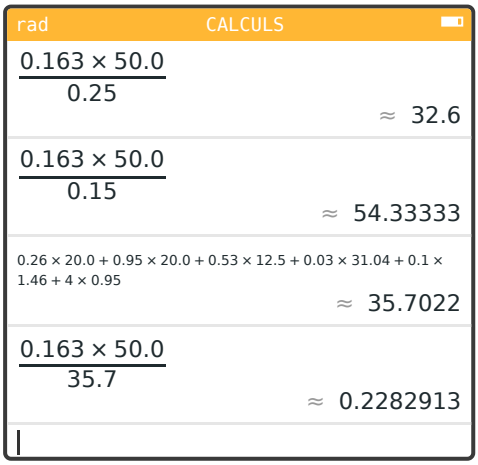
Vérification.

Élément	α_i	S_i (m^2)	$\alpha_i S_i$ (m^2)
Moquette (sol)	0,26	20,0	5,20
Dalles acoustiques (plafond)	0,95	20,0	19,0
Rideau lourd (un mur)	0,53	12,5	6,63
Plâtre peint (trois murs)	0,03	31,0	0,93
Bois (porte)	0,1	1,46	0,15
4 personnes assises			3,80
Total A'			35,7

$$T' = \frac{0{,}163 \times 50{,}0}{35{,}7} = 0{,}23\ \text{s}$$

Avec moquette, dalles acoustiques au plafond et rideau lourd sur le mur de la fenêtre : $T' \approx 0{,}23$ s, compris entre $0{,}15$ s et $0{,}25$ s. La pièce répond alors aux critères.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Additionner le rideau et la paroi qu'il recouvre : une surface cachée ne compte plus, seul le matériau apparent absorbe. Sans calcul final de T' comparé à l'intervalle, la proposition n'est pas validée.

COMPRENDRE
D'autres choix conviennent (rideaux sur plusieurs murs, par exemple), tant que A reste entre 33 et $54\ \text{m}^2$. Trop absorber serait aussi un défaut : en dessous de $0{,}15$ s, le son paraît étouffé.

MÉTHODE
Chiffrer d'abord l'aire A à atteindre (ici au moins $33\ \text{m}^2$), puis traiter en priorité les grandes surfaces : le plafond en dalles apporte à lui seul $19\ \text{m}^2$. On ajuste ensuite avec le sol et un mur.