Corrigé complet — Bac S 2020 Centres étrangers (ancien programme)

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

Ex 1	**La gomme arabique** Catégories de réactions · Mécanisme réactionnel et catalyse · Groupes caractéristiques · Énantiomérie · Spectroscopies IR et RMN · Dosage par étalonnage	7,5 pts	1 h 20	11 questions	p. 2
Ex 2	**Une tour énergétique** Transferts thermiques · Énergie interne et capacité thermique · Flux et résistance thermiques · Bilan d'énergie · Combustion du méthane	7,5 pts	1 h 20	10 questions	p. 8
Ex 3	**Un nanosatellite** Mouvement circulaire uniforme · Repère de Frenet · Deuxième loi de Newton · Gravitation universelle · Période de révolution · Ondes électromagnétiques	5 pts	53 min	6 questions	p. 12

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

La gomme arabique

Bac S 2020 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **7,5 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1.1 À quelle catégorie appartient la réaction d'hydrolyse du polysaccharide ? Justifier.

Sur le carbone du cycle qui portait le groupe $-\mathrm{OR}$, ce groupe est remplacé par un groupe $-\mathrm{OH}$. Le reste de la molécule est inchangé : aucune liaison multiple n'est créée ni rompue, et il y a deux réactifs pour deux produits.

Un groupe d'atomes en remplace un autre : c'est une réaction de **substitution**.

MÉTHODE
Addition : des atomes se fixent sur une liaison multiple, qui disparaît (deux réactifs, un produit). Élimination : une liaison multiple se forme (un réactif, deux produits). Substitution : un atome ou un groupe en remplace un autre.

1.1.2 Identifier le rôle des ions H^+ dans l'hydrolyse de la gomme arabique. Justifier.

L'ion H^+ est consommé à l'étape a puis régénéré à l'étape d : il n'apparaît pas dans le bilan de la réaction (il est écrit au-dessus de la flèche). Sa présence accélère l'hydrolyse.

L'ion H^+ est un **catalyseur** de l'hydrolyse.

COMPRENDRE
Un catalyseur modifie le mécanisme (ici, le groupe $-\mathrm{OR}$ protoné se détache plus facilement) sans changer le bilan ni l'état final. Dans le protocole de la partie 2, les ions H^+ sont apportés par l'acide méthanoïque.

1.1.3 Identifier, pour l'étape a du mécanisme, le site donneur et le site accepteur mis en jeu. Justifier. Représenter sur l'annexe la flèche courbe rendant compte de cette étape.

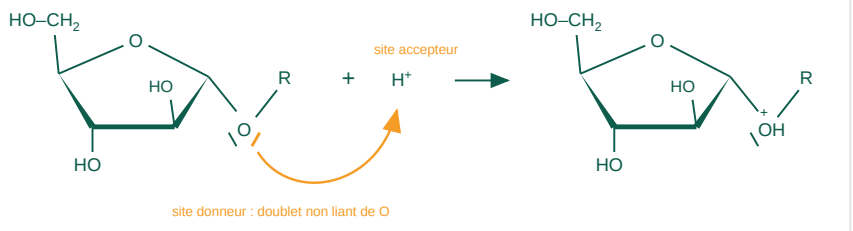
Site donneur de doublet d'électrons : l'atome d'oxygène du groupe $-\mathrm{OR}$. Il porte deux doublets non liants et une charge partielle négative, car l'oxygène est plus électronégatif que le carbone.

Site accepteur de doublet d'électrons : l'ion H^+, qui porte une charge positive (il ne possède aucun électron).

La flèche courbe part d'un doublet non liant de l'oxygène et pointe vers H^+ : elle traduit la formation de la liaison $\mathrm{O}-\mathrm{H}$.

Donneur : O du groupe $-\mathrm{OR}$; accepteur : H^+ ; flèche du doublet de O vers H^+ (annexe).

PIÈGE
Tracer la flèche de H^+ vers l'oxygène. Une flèche courbe représente le déplacement d'un doublet d'électrons : elle part toujours du site donneur (doublet non liant ou liaison), jamais d'une charge positive.



1.1.3 · Annexe complétée, étape a : la flèche courbe (en orange) part du doublet de l'oxygène et pointe vers l'ion hydrogène

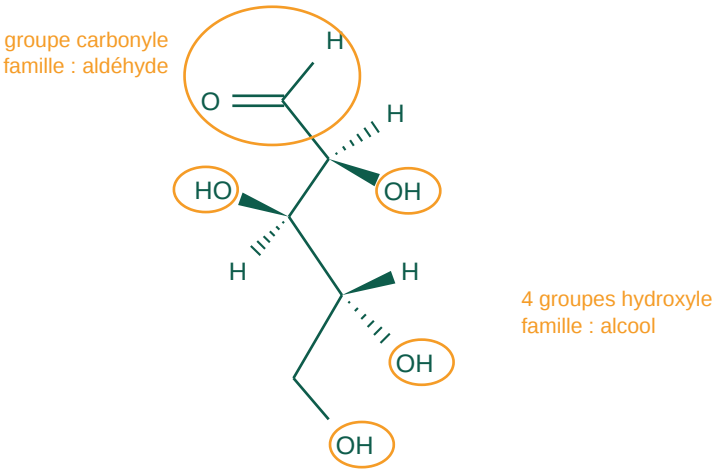
1.2.1 Entourer les groupes caractéristiques de la molécule d'arabinose sur l'annexe et nommer les familles de fonction associées.

La molécule d'arabinose comporte :

- un groupe carbonyle $C{=}O$ en bout de chaîne, dont le carbone est lié à un atome H : famille des **aldéhydes** ;
- quatre groupes hydroxyle $-OH$: famille des **alcools**.

Un groupe carbonyle (aldéhyde) et quatre groupes hydroxyle (alcool), entourés sur l'annexe.

PIÈGE
Répondre « cétone » : le carbone du carbonyle porte un H et se trouve en bout de chaîne, c'est un aldéhyde. Ne pas confondre le nom du groupe (hydroxyle) et celui de la famille (alcool).



1.2.1 · Annexe complétée : groupes caractéristiques de l'arabinose entourés en orange

1.2.2 Justifier l'existence d'un couple d'énantiomères pour l'arabinose. Représenter l'énantiomère manquant sur l'annexe.

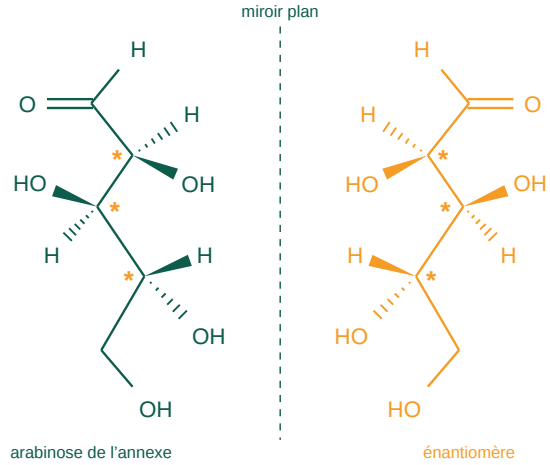
La molécule d'arabinose possède trois atomes de carbone asymétriques (chacun est lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents), repérés par un astérisque sur l'annexe. Elle n'a pas de plan de symétrie : elle est chirale, c'est-à-dire non superposable à son image dans un miroir plan.

La molécule et son image dans un miroir forment un couple d'énantiomères. L'énantiomère manquant est donc l'image de la molécule de l'annexe dans un miroir.

L'arabinose est chirale (trois carbones asymétriques) : elle forme avec son image dans un miroir un couple d'énantiomères.

COMPRENDRE
Carbone asymétrique, chiralité et énantiomérie relevaient du programme de Terminale S. Ces notions ne figurent plus au programme actuel de la spécialité.

MÉTHODE
Autre tracé accepté : garder le même squelette et échanger, sur chacun des trois carbones asymétriques, la liaison en trait épais et la liaison en pointillés. Ne les échanger que sur un seul carbone donnerait un diastéréoisomère.



1.2.2 · Annexe complétée : l'énantiomère (en orange) est l'image de l'arabinose dans un miroir ; les astérisques repèrent les carbones asymétriques

1.2.3 Indiquer s'il est possible de distinguer le rhamnose, le galactose et l'arabinose par spectroscopie infrarouge ou de RMN du proton d'échantillons purs. Justifier.

Spectroscopie infrarouge : un spectre IR renseigne sur les liaisons, donc sur les groupes caractéristiques. Les trois molécules possèdent les mêmes groupes (carbonyle d'aldéhyde et hydroxyle) : leurs spectres présentent les mêmes bandes caractéristiques ($\mathrm{O-H}$, $\mathrm{C=O}$, $\mathrm{C-H}$) et ne permettent pas de les distinguer.

RMN du proton : le nombre de signaux, leur multiplicité et la courbe d'intégration dépendent des groupes de protons équivalents de la molécule.

- Arabinose : 10 protons.
- Galactose : 12 protons, avec un groupe $\mathrm{CH-OH}$ de plus que l'arabinose, donc deux signaux de plus.
- Rhamnose : 12 protons, dont ceux d'un groupe $\mathrm{CH_3}$, absent des deux autres molécules : signal intégrant pour 3 H, en doublet (un seul H voisin).

Les trois spectres sont différents.

IR : non (mêmes groupes caractéristiques). RMN du proton : oui (nombre de signaux, intégration, signal du groupe $\mathrm{CH_3}$ du rhamnose).

COMPRENDRE
La RMN du proton n'est plus au programme actuel de la spécialité ; la spectroscopie infrarouge y figure toujours.

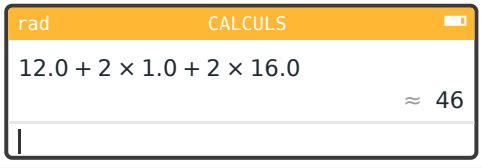
2.1 Écrire la formule semi-développée de l'acide méthanoïque.

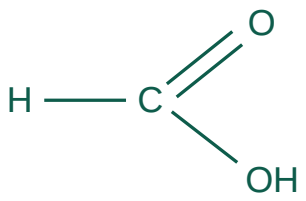
L'acide méthanoïque a une chaîne à un seul atome de carbone, qui appartient au groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$; il porte en plus un atome d'hydrogène.

$\mathrm{H-COOH}$, soit $\mathrm{H-C(=O)-OH}$ (formule dessinée ci-dessous).

COMPRENDRE
« Méthan » : un seul carbone ; « oïque » : acide carboxylique. Contrôle avec la donnée : la formule brute $\mathrm{CH_2O_2}$ donne $M = 12{,}0 + 2 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 46{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Formule semi-développée de l'acide méthanoïque

2.2 Citer un avantage de l'utilisation d'un chauffage à reflux.

Le chauffage accélère l'hydrolyse (la température est un facteur cinétique). Le réfrigérant à eau condense les vapeurs, qui retombent dans le ballon.

Le chauffage à reflux accélère la réaction sans perte de matière (réactifs, produits, solvant).

2.3 Quels sont les dépôts à réaliser sur la ligne de dépôt de la plaque de CCM pour pouvoir interpréter les résultats ? Justifier.

On dépose sur la ligne de dépôt :

- le mélange réactionnel obtenu en fin d'hydrolyse (un dépôt par protocole étudié) ;
- trois témoins : l'arabinose, le galactose et le rhamnose purs, en solution ;
- la gomme arabique non hydrolysée.

Justification : après élution et révélation, une même espèce migre à la même hauteur dans le mélange et dans le témoin. Les trois témoins permettent d'identifier les glucides formés. Une tache à la hauteur de celle de la gomme signale une hydrolyse incomplète ; une tache qui ne correspond à aucun témoin signale un produit de dégradation.

Dépôts : mélange réactionnel, arabinose, galactose, rhamnose et gomme arabique de départ.

COMPRENDRE
Une CCM s'interprète par comparaison : sans témoins déposés sur la même plaque, les taches du mélange ne peuvent être attribuées à aucune espèce. Les glucides étant incolores, la plaque doit être révélée.

2.4 Choisir le protocole le plus adapté pour effectuer l'hydrolyse de la gomme arabique. Justifier.

Données utiles tableau du sujet : conditions, résultats des CCM et interprétations des protocoles 1 à 4

On cherche une hydrolyse complète, sans dégradation des glucides formés.

- Protocole 4 (20 %) : hydrolyse incomplète.
- Protocoles 1 et 2 (40 % et 30 %) : hydrolyse complète, mais les glucides sont dégradés (taches secondaires).
- Protocole 3 (25 %) : taches nettes, hydrolyse complète et aucune dégradation.

Le protocole 3 (solution d'acide méthanoïque à 25 %) est le plus adapté.

3 Proposer un protocole expérimental détaillé, notamment la fabrication de la gamme étalon, permettant de déterminer la concentration en arabinose dans l'échantillon étudié.

Données utiles échantillon : 2 mL, concentration de l'ordre de $3{,}5 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; réactifs ajoutés : 5 mL d'acide sulfurique et 0,05 mL de phénol (complexe orange) ; solution étalon S_0 : $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-1}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; cercle chromatique

Principe : le complexe formé est coloré, on réalise un dosage par étalonnage avec un spectrophotomètre. L'arabinose étant en défaut, la concentration du complexe est proportionnelle à celle de l'arabinose ; d'après la loi de Beer-Lambert, l'absorbance A l'est donc aussi.

1. Gamme étalon. On prépare par dilution de S_0 des solutions filles dont les concentrations encadrent $3{,}5 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. Pour un volume $V = 50{,}0$ mL de solution fille de concentration C_i, le volume de S_0 à prélever est $V_0 = \dfrac{C_i \times V}{C_0}$:

- S_1 : $C_1 = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $V_0 = 5{,}0$ mL ;
- S_2 : $C_2 = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $V_0 = 10{,}0$ mL ;
- S_3 : $C_3 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $V_0 = 20{,}0$ mL ;
- S_4 : $C_4 = 6{,}0 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $V_0 = 30{,}0$ mL ;
- S_5 : $C_5 = 8{,}0 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $V_0 = 40{,}0$ mL.

Le volume V_0 est prélevé avec une burette graduée (ou des pipettes jaugées), versé dans une fiole jaugée de 50,0 mL ; on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, on bouche et on homogénéise.

2. Formation du complexe. Dans des tubes à essais identiques, on introduit à la pipette 2,0 mL de chaque solution fille, 2,0 mL de l'échantillon dans un autre tube et 2,0 mL d'eau distillée dans un dernier (le « blanc »). On ajoute dans chaque tube 5 mL d'acide sulfurique et 0,05 mL de phénol, puis on agite. Gants, lunettes et hotte : l'acide sulfurique et le phénol sont corrosifs.

3. Mesures. La solution est orange : elle absorbe la couleur complémentaire, diamétralement opposée sur le cercle chromatique, le cyan. On règle le spectrophotomètre vers $\lambda = 480$ nm, on fait le zéro avec le blanc, puis on mesure l'absorbance de chaque étalon et celle de l'échantillon.

4. Exploitation. On trace A en fonction de C : les points sont alignés sur une droite passant par l'origine. On reporte l'absorbance de l'échantillon sur cette droite et on lit sa concentration en abscisse.

> Dosage spectrophotométrique par étalonnage à $\lambda \approx 480$ nm : gamme de $1{,}0 \times 10^{-2}$ à $8{,}0 \times 10^{-2}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, droite $A = k \times C$, lecture de la concentration de l'échantillon.

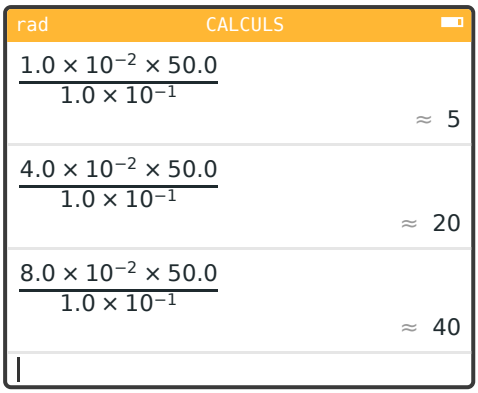
PIÈGE

Régler le spectrophotomètre sur la couleur perçue (orange, vers 620 nm) au lieu de la couleur absorbée. Autre erreur : une gamme qui n'encadre pas la valeur attendue, la lecture se ferait hors de la droite d'étalonnage.

COMPRENDRE

Étalons et échantillon reçoivent exactement les mêmes volumes de réactifs : la dilution est la même dans tous les tubes, on peut donc tracer A en fonction de la concentration avant ajout. Concentrations écrites avec deux chiffres significatifs, comme C_0.

À LA CALCULATRICE



Une tour énergétique

Bac S 2020 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **7,5 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1 Donner le nom des trois types de transferts thermiques.

Les trois modes de transfert thermique sont la **conduction**, la **convection** et le **rayonnement**.

COMPRENDRE
Conduction : de proche en proche, sans déplacement de matière (solides). Convection : avec mouvement d'ensemble d'un fluide. Rayonnement : par ondes électromagnétiques, possible même dans le vide.

1.2 Indiquer quel type de transfert thermique principal permet à la température de l'eau de devenir homogène.

L'eau est un fluide : l'eau chaude, moins dense, monte et l'eau plus froide descend. Ces mouvements de matière brassent le contenu de la cuve.

La température devient homogène principalement par **convection**.

1.3.1 Donner la relation entre la variation d'énergie interne de l'eau à l'intérieur de la cuve et la variation de sa température.

L'eau reste liquide (pas de changement d'état) :

$$\Delta U = m_{\text{eau}}\, c_{\text{eau}}\, \Delta T = m_{\text{eau}}\, c_{\text{eau}}\, (T_f - T_i)$$

COMPRENDRE
ΔU est en J, m_{eau} en kg, c_{eau} en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Un écart de température a la même valeur en K et en °C : inutile de convertir.

1.3.2 Montrer que la quantité d'énergie Q à fournir pour élever la température de l'eau contenue dans la tour de 72 à 98 °C est égale à $1{,}1 \times 10^{11}$ J.

Données utiles $V = 1000\ \text{m}^3$; $\rho_{\text{eau}} = 1\,000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $c_{\text{eau}} = 4180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Système {eau de la cuve}. L'eau ne reçoit aucun travail, donc $\Delta U = Q$.

Masse d'eau : $m_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}}\, V$, d'où

$$Q = \rho_{\text{eau}}\, V\, c_{\text{eau}}\, (T_f - T_i)$$

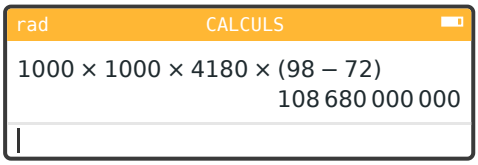
$$Q = 1\,000 \times 1000 \times 4180 \times (98 - 72) = 1{,}09 \times 10^{11}\ \text{J}$$

$Q \approx 1{,}1 \times 10^{11}$ J : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Oublier de passer du volume à la masse, ou ajouter 273 à l'écart de température : seule la différence $98 - 72 = 26$ intervient.

COMPRENDRE
Les températures 98 °C et 72 °C n'ont que deux chiffres significatifs : le résultat s'arrondit à deux chiffres, $1{,}1 \times 10^{11}$ J.

À LA CALCULATRICE



2.1 Indiquer le type de transferts thermiques qui n'existe pratiquement plus entre la cuve et le milieu extérieur.

La laine de verre placée entre les deux enveloppes a une conductivité thermique très faible ($\lambda = 0{,}032\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) : la paroi conduit très mal la chaleur.

Le transfert par **conduction** à travers la paroi est presque supprimé.

COMPRENDRE
« Pratiquement plus » ne veut pas dire nul : il reste un faible flux à travers l'isolant, celui que l'on limite à 1,0 % à la question 2.3.2.

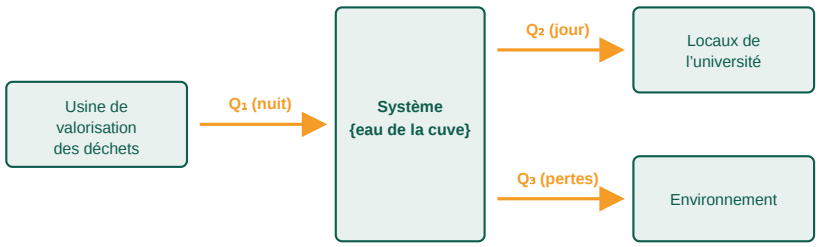
2.2 Schématiser les échanges énergétiques du système {eau de la cuve} sur 24 h avec l'usine de valorisation des déchets, les locaux de l'université et l'environnement. Préciser le sens des transferts thermiques.

Un transfert thermique se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

- Q_1 : de l'usine vers l'eau (la nuit), énergie **reçue** par l'eau.
- Q_2 : de l'eau vers les locaux de l'université (le jour), énergie **cédée** par l'eau.
- Q_3 : de l'eau (90 °C en moyenne) vers l'environnement (10 °C), pertes **cédées** par l'eau.

L'eau reçoit Q_1 de l'usine ; elle cède Q_2 aux locaux et Q_3 à l'environnement (voir le schéma).

MÉTHODE
Schéma d'échanges : le système au centre, un bloc par milieu extérieur, une flèche par transfert, orientée du chaud vers le froid, avec son nom. Flèche entrante : énergie reçue ; flèche sortante : énergie cédée.



2.2 · Échanges d'énergie du système {eau de la cuve} sur 24 h

2.3.1 Montrer que la surface S de la paroi extérieure de la cuve en contact avec l'air est égale à 653 m².

Données utiles $h = 19{,}50$ m ; $d = 9{,}50$ m

La paroi en contact avec l'air comprend :

- la surface latérale du cylindre (un rectangle de côtés πd et h une fois déroulé) : $S_{\text{lat}} = \pi\, d\, h$;
- le disque supérieur : $S_{\text{disque}} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$.

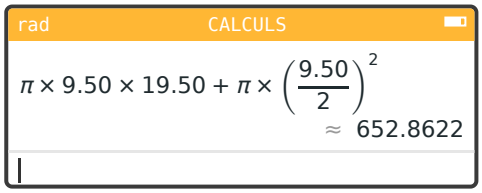
Le fond repose sur le sol : il n'est pas compté.

$$S = \pi\, d\, h + \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times 9{,}50 \times 19{,}50 + \pi \times \left(\frac{9{,}50}{2}\right)^2$$

$S = 582 + 71 = 653$ m² : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Compter deux disques (le fond touche le sol, pas l'air) ou utiliser le diamètre à la place du rayon dans l'aire du disque.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 Calculer l'épaisseur minimale e de la couche d'isolant pour que les pertes thermiques n'excèdent pas 1,0 % de l'énergie reçue de l'usine de valorisation sur 24 h.

Données utiles $Q = 1{,}1 \times 10^{11}$ J (1.3.2) ; $S = 653\ \text{m}^2$ (2.3.1) ; $\lambda = 0{,}032\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $T_1 = 90$ °C ; $T_2 = 10$ °C ; $\Delta t = 24$ h

Pertes maximales tolérées sur 24 h : $Q_p = \dfrac{1{,}0}{100} \times Q = 1{,}1 \times 10^9$ J.

Flux thermique correspondant, avec $\Delta t = 24 \times 3600 = 8{,}64 \times 10^4$ s : $\varphi = \dfrac{Q_p}{\Delta t}$.

Or $\varphi = \dfrac{T_1 - T_2}{R_{th}}$ et $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$, donc $\dfrac{Q_p}{\Delta t} = \dfrac{\lambda S (T_1 - T_2)}{e}$, soit

$$e = \frac{\lambda S (T_1 - T_2) \Delta t}{Q_p}$$

$$e = \frac{0{,}032 \times 653 \times (90 - 10) \times 24 \times 3600}{1{,}1 \times 10^9} = 0{,}13\ \text{m}$$

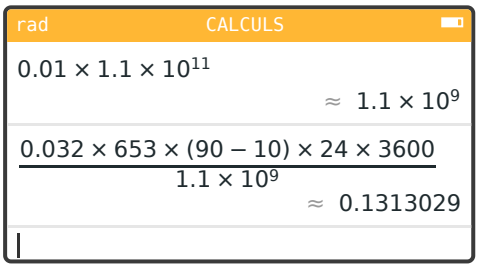
Si e augmente, R_{th} augmente et le flux perdu diminue : cette valeur est bien un minimum.

$e_{\min} \approx 0{,}13$ m, soit environ 13 cm de laine de verre.

PIÈGE
Laisser la durée en heures : un flux en watts est une énergie en joules divisée par une durée en secondes, soit $24\ \text{h} = 86\,400$ s.

MÉTHODE
Relier énergie et flux par $Q = \varphi\,\Delta t$, puis enchaîner les deux relations données. Garder l'expression littérale jusqu'au bout évite les arrondis intermédiaires ($\varphi \approx 1{,}3 \times 10^4$ W, $R_{th} \approx 6{,}3 \times 10^{-3}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$).

À LA CALCULATRICE



3.1 Écrire l'équation de combustion complète du méthane CH_4, les produits étant le dioxyde de carbone et l'eau.

Le comburant est le dioxygène. On équilibre C, puis H, puis O :

$$CH_4\,(g) + 2\,O_2\,(g) \longrightarrow CO_2\,(g) + 2\,H_2O\,(g)$$

MÉTHODE
Vérification : 1 C, 4 H et 4 O de chaque côté. Dans une combustion, on ajuste le dioxygène en dernier, car il n'apporte que l'élément oxygène.

3.2 « 2 500 MWh sont ainsi récupérés par an, entraînant une réduction des émissions de CO_2 de la métropole brestoise de 12 700 tonnes sur 20 ans. » Les données chiffrées de cette affirmation sont-elles cohérentes ?

Données utiles 1 kg de gaz naturel libère 54,0 MJ ; $M(CO_2) = 44{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(CH_4) = 16{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; 1 MWh = 3 600 MJ

Démarche : calculer la masse de CO_2 qu'aurait dégagée, en 20 ans, le gaz naturel nécessaire pour fournir la même énergie.

Énergie récupérée en un an : $E = 2\,500 \times 3\,600 = 9{,}00 \times 10^6$ MJ.

Masse de méthane économisée en un an : $m(CH_4) = \dfrac{9{,}00 \times 10^6}{54{,}0} = 1{,}67 \times 10^5$ kg.

D'après l'équation (3.1), une mole de CH_4 brûlée forme une mole de CO_2 : $n(CO_2) = n(CH_4)$, donc

$$m(CO_2) = m(CH_4) \times \frac{M(CO_2)}{M(CH_4)} = 1{,}67 \times 10^5 \times \frac{44{,}0}{16{,}0} = 4{,}58 \times 10^5\ \text{kg}$$

soit 458 t par an. Sur 20 ans : $20 \times 458 = 9{,}17 \times 10^3$ t.

Écart relatif avec la valeur annoncée : $\dfrac{12\,700 - 9\,170}{12\,700} \approx 28\ \%$.

On trouve environ $9{,}2 \times 10^3$ t de CO_2 évitées en 20 ans, contre 12 700 t annoncées : même ordre de grandeur, mais un écart de 28 %. Les données ne sont pas rigoureusement cohérentes.

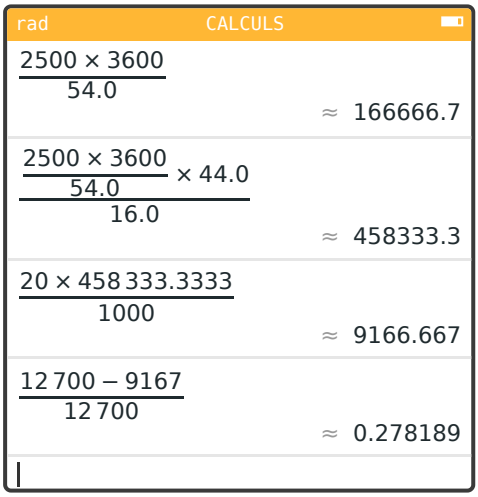
PIÈGE

Comparer une masse annuelle à une valeur donnée sur 20 ans, ou confondre kilogrammes et tonnes (1 t = 10^3 kg). Sans conclusion argumentée, la question n'est pas terminée.

COMPRENDRE

L'écart peut venir du modèle : le gaz naturel n'est pas du méthane pur et une chaudière a un rendement inférieur à 1, il faut donc brûler davantage de gaz pour fournir 2 500 MWh utiles.

À LA CALCULATRICE



Un nanosatellite

Bac S 2020 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1.1 Montrer par un calcul d'écart relatif que l'orbite du satellite peut être considérée comme quasi-circulaire.

Données utiles altitude en P : 395 km ; altitude en A : 402 km ; $R_T = 6\,400$ km

La distance du satellite au centre de la Terre est $r = R_T + h$.

Au point P : $r_P = 6\,400 + 395 = 6\,795$ km. Au point A : $r_A = 6\,400 + 402 = 6\,802$ km.

Écart relatif entre ces deux distances :

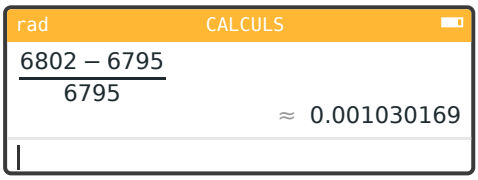
$$\frac{r_A - r_P}{r_P} = \frac{6\,802 - 6\,795}{6\,795} = 1{,}0 \times 10^{-3}$$

L'écart relatif vaut $0{,}10\ \%$: la distance au centre de la Terre est presque constante, l'orbite est quasi-circulaire.

PIÈGE
Comparer les altitudes entre elles ($7/395 \approx 2\ \%$). Un cercle se définit par la distance au centre : il faut ajouter R_T avant de calculer l'écart relatif.

COMPRENDRE
Sur une orbite elliptique, la Terre occupe un foyer. Quand les distances extrêmes r_P et r_A sont presque égales, l'ellipse se confond avec un cercle centré sur la Terre.

À LA CALCULATRICE



1.2 Exprimer la vitesse v du satellite en fonction de sa période de rotation T et du rayon R de l'orbite.

Pendant une période T, le satellite parcourt à vitesse constante un tour complet, soit la circonférence $2\pi R$ de l'orbite.

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

PIÈGE
Ici R désigne le rayon de l'orbite, $R = R_T + h$, et non le rayon de la Terre ni l'altitude.

1.3 Donner l'expression de l'accélération a_N du satellite dans le cas d'un mouvement circulaire.

Dans le repère de Frenet $(\vec{u}_T, \vec{u}_N)$, pour un mouvement circulaire de rayon R :

$$\vec{a} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_T + \frac{v^2}{R}\,\vec{u}_N$$

La composante normale, dirigée vers le centre de la trajectoire, est donc :

$$a_N = \frac{v^2}{R}$$

COMPRENDRE
Même à vitesse constante, l'accélération n'est pas nulle : a_N traduit le changement de direction du vecteur vitesse. Elle est dite centripète.

1.4 À l'aide de la seconde loi de Newton et des réponses précédentes, calculer le nombre de révolutions effectuées par jour par le satellite. Conclure quant à l'approximation d'une orbite circulaire.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ S.I. ; $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6\,400$ km ; $h = 400$ km ; valeur annoncée : $15{,}56$ révolutions par jour

Système {satellite}, de masse m ; référentiel géocentrique supposé galiléen. Seule force : l'attraction gravitationnelle de la Terre, dirigée vers son centre :

$$\vec{F} = \frac{G\,m\,M_T}{R^2}\,\vec{u}_N \quad \text{avec } R = R_T + h$$

Seconde loi de Newton : $\vec{F} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \dfrac{G\,M_T}{R^2}\,\vec{u}_N$.

L'accélération n'a pas de composante selon $\vec{u}_T$: $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, le mouvement est uniforme. Selon $\vec{u}_N$, avec la question 1.3 :

$$\frac{v^2}{R} = \frac{G\,M_T}{R^2} \quad \text{soit} \quad v = \sqrt{\frac{G\,M_T}{R}}$$

Avec la question 1.2, $T = \dfrac{2\pi R}{v}$, d'où :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{G\,M_T}}$$

$R = 6\,400 + 400 = 6\,800$ km $= 6{,}80 \times 10^6$ m.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}80\times10^6)^3}{6{,}67\times10^{-11}\times5{,}97\times10^{24}}} = 5{,}58\times10^3 \text{ s}$$

Un jour dure $24 \times 3\,600 = 86\,400$ s. Nombre de révolutions par jour :

$$N = \frac{86\,400}{T} = \frac{86\,400}{5{,}58\times10^3} = 15{,}5$$

Écart relatif avec la valeur annoncée : $\dfrac{15{,}56 - 15{,}5}{15{,}56} \approx 0{,}5\ \%$.

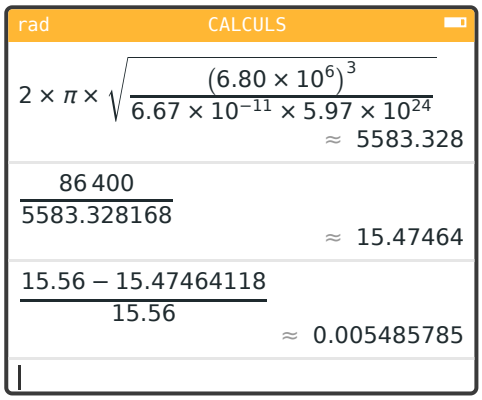
$N = 15{,}5$ révolutions par jour, très proche des $15{,}56$ annoncées (écart d'environ $0{,}5\ \%$) : l'approximation d'une orbite circulaire est validée.

PIÈGE
Laisser R en kilomètres : G est en unités S.I., il faut $R = 6{,}80 \times 10^6$ m. Autre erreur fréquente : utiliser h seul à la place de $R_T + h$.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : on écrit $15{,}5$. La masse m du satellite se simplifie : la période ne dépend que du rayon de l'orbite et de la masse de la Terre.

MÉTHODE
Satellite en orbite circulaire : 1) seconde loi de Newton avec la force de gravitation ; 2) identification avec l'accélération dans le repère de Frenet ; 3) v, puis $T = 2\pi R/v$.

À LA CALCULATRICE



2.1 Expliquer pourquoi il est nécessaire que les mesures du taux d'oxygène atomique de la thermosphère soient réalisées depuis un satellite.

Données utiles mesures par spectroscopie dans l'U.V. lointain ($\lambda < 200$ nm) ; graphique de l'opacité de l'atmosphère

Les mesures utilisent des rayonnements ultraviolets de longueur d'onde inférieure à 200 nm.

D'après le graphique, pour ces longueurs d'onde, l'opacité de l'atmosphère est de $100\ \%$: ces rayonnements sont entièrement arrêtés dans la haute atmosphère et ne parviennent pas au sol.

Un instrument placé au sol ne recevrait aucun de ces U.V. : la mesure doit se faire au-dessus des couches absorbantes, donc depuis un satellite situé dans la thermosphère.

MÉTHODE
Question « expliquer à partir d'un document » : citer la grandeur lue (ici l'opacité de $100\ \%$ pour $\lambda < 200$ nm), puis en tirer la conséquence pour la situation étudiée.

2.2 Justifier le choix des fréquences utilisées pour communiquer avec le satellite depuis la Terre.

Données utiles $f_1 = 436$ MHz ; $f_2 = 146$ MHz ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; graphique de l'opacité de l'atmosphère

Le graphique est gradué en longueur d'onde : $\lambda = \dfrac{c}{f}$.

$$\lambda_1 = \frac{3{,}00 \times 10^8}{436 \times 10^6} = 0{,}688 \text{ m} \qquad \lambda_2 = \frac{3{,}00 \times 10^8}{146 \times 10^6} = 2{,}05 \text{ m}$$

Ces deux longueurs d'onde sont comprises entre 10 cm et 10 m, domaine où l'opacité de l'atmosphère est de 0 %.

$\lambda_1 = 0{,}688$ m et $\lambda_2 = 2{,}05$ m : à ces fréquences l'atmosphère est transparente, les ondes radio la traversent sans être absorbées et la communication entre le sol et le satellite est possible.

PIÈGE
Oublier de convertir les mégahertz : 1 MHz = 10^6 Hz. Sans le calcul des longueurs d'onde, la lecture du graphique n'est pas justifiée.

COMPRENDRE
L'axe des longueurs d'onde est logarithmique : chaque graduation multiplie par dix. Au-delà d'une dizaine de mètres, l'opacité remonte à 100 % : ces ondes radio ne traversent plus l'atmosphère.

À LA CALCULATRICE

