Corrigé complet — Bac S 2014 Amérique du Nord (ancien programme)

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

Ex 1	**Ondes et particules** Interférences · Fentes d'Young · Dualité onde-particule · Relation de de Broglie · Diffraction · Incertitudes de mesure	6 pts	1 h	9 questions	p. 2
Ex 2	**La synthèse du méthacrylate de méthyle** Groupe caractéristique ester · Stéréoisomérie · Catégories de réactions · Mécanisme réactionnel · Spectroscopies IR et RMN · Économie d'atomes	9 pts	1 h 30	10 questions	p. 6
Ex 3	**Cogénération en exploitation agricole** Exploitation de documents · Rendement énergétique · Puissance et énergie · Transfert thermique et capacité thermique massique · Conversions d'unités d'énergie · Enjeux environnementaux	5 pts	50 min	5 questions	p. 11
Ex 4	**Spécialité : Comment éliminer l'effet larsen ?** Intensité sonore · Niveau d'intensité sonore · Atténuation géométrique · Chaîne microphone, amplificateur, haut-parleur · Directivité d'un microphone	5 pts	50 min	3 questions	p. 15

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.

Ondes et particules

Bac S 2014 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1 Partie A. Qualifier les interférences aux points A et B de l'écran.

Le point A est situé au centre d'une frange brillante : l'intensité lumineuse y est maximale, les interférences y sont **constructives**.

Le point B est situé au centre d'une frange sombre : l'intensité lumineuse y est minimale, les interférences y sont **destructives**.

En A : interférences constructives ; en B : interférences destructives.

COMPRENDRE
Les deux fentes se comportent comme deux sources cohérentes. Selon la différence de marche entre les deux ondes au point considéré, leurs effets s'ajoutent ou se compensent.

2 Partie A. Parmi les ondes (a), (b) et (c), choisir en justifiant les deux ondes qui interfèrent en A et les deux qui interfèrent en B.

Les ondes (a) et (c) ont la même période et sont **en phase** : leurs maxima se produisent aux mêmes dates. Leur superposition donne une onde d'amplitude plus grande : ce sont elles qui interfèrent en A (interférences constructives).

Les ondes (a) et (b) ont la même période mais sont **en opposition de phase** : quand l'une passe par un maximum, l'autre passe par un minimum. Leurs élongations se compensent : ce sont elles qui interfèrent en B (interférences destructives).

En A : ondes (a) et (c) ; en B : ondes (a) et (b), ou de même (b) et (c).

PIÈGE
Citer les couples sans justification. Les mots attendus sont « en phase » pour A et « en opposition de phase » pour B.

MÉTHODE
Pour comparer deux ondes de même période, regarder la première variation à partir de l'origine : (a) et (c) commencent par croître, (b) commence par décroître.

1.1 Partie B. Peut-on prévoir la position de l'impact d'un électron sur l'écran ? Justifier.

Sur le document 2, pour 50 ou 100 impacts, les points sont répartis sur l'écran sans ordre apparent, alors que tous les électrons sont émis dans les mêmes conditions.

La position de l'impact d'un électron donné est donc aléatoire.

Non : on ne peut pas prévoir la position de l'impact d'un électron.

COMPRENDRE
Seule la probabilité qu'un électron arrive à un endroit donné de l'écran peut être connue : le phénomène a un caractère probabiliste.

1.2 Partie B. En quoi cette expérience met-elle en évidence la dualité onde-particule pour l'électron ?

Aspect particulaire. Chaque électron laisse sur l'écran un impact ponctuel, localisé : il est détecté comme une particule.

Aspect ondulatoire. Quand le nombre d'impacts devient grand (1000 puis 5000 impacts), des bandes verticales riches en impacts alternent avec des bandes presque vides. Cette figure est une figure d'interférences, analogue aux franges brillantes et sombres obtenues avec la lumière : or les interférences sont caractéristiques des ondes.

Les électrons étant émis un à un, c'est bien à chaque électron qu'il faut associer une onde.

L'électron présente à la fois un comportement de particule (impacts ponctuels) et un comportement d'onde (figure d'interférences) : c'est la dualité onde-particule.

PIÈGE
« Détailler » demande deux arguments tirés des documents : un pour l'aspect particule, un pour l'aspect onde. Affirmer la dualité sans s'appuyer sur les impacts ne rapporte pas les points.

COMPRENDRE
Les ondes de matière ne figurent plus au programme actuel de spécialité. Les interférences lumineuses, elles, y sont toujours.

2.1.1 Déterminer la valeur de la longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron, donnée par la relation de de Broglie.

Données utiles $h = 6{,}6 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}$; $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}\ \text{kg}$; $v = 1{,}3 \times 10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; incertitude admise : $5 \times 10^{-13}\ \text{m}$

Relation de de Broglie : $\lambda = \dfrac{h}{p}$, où $p = m_e\, v$ est la quantité de mouvement de l'électron. Donc

$$\lambda = \frac{h}{m_e\, v} = \frac{6{,}6 \times 10^{-34}}{9{,}1 \times 10^{-31} \times 1{,}3 \times 10^{8}} = 5{,}6 \times 10^{-12}\ \text{m}$$

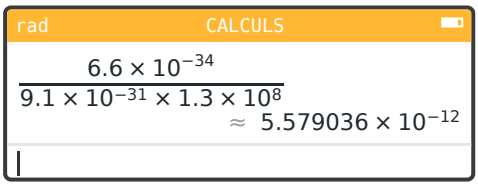
Avec l'incertitude admise par l'énoncé, $5 \times 10^{-13}\ \text{m} = 0{,}5 \times 10^{-12}\ \text{m}$:

$\lambda = (5{,}6 \pm 0{,}5) \times 10^{-12}\ \text{m}$, soit environ 5,6 pm.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme toutes les données. L'incertitude porte sur le chiffre des dixièmes de picomètre : le résultat s'arrête à ce chiffre.

COMPRENDRE
La relation de de Broglie et la quantité de mouvement ne sont plus au programme actuel de spécialité. De plus, à 43 % de c, l'expression $p = m_e\, v$ n'est qu'approchée ; le sujet l'admet.

À LA CALCULATRICE



2.1.2 Vérifier la cohérence des observations expérimentales avec le résultat précédent.

Données utiles document 1 : $b = 0{,}8 \pm 0{,}2\ \mu\text{m}$, $D = 35{,}0 \pm 0{,}1\ \text{cm}$; $\Delta i = 0{,}2\ \mu\text{m}$; λ (2.1.1)

Interfrange. Sur le document 2 (5000 impacts), les bandes riches en impacts sont centrées en $y = -4$; -2 ; 0 ; 2 et $4\ \mu\text{m}$: quatre interfranges couvrent $8{,}0\ \mu\text{m}$, donc $i = \dfrac{8{,}0}{4} = 2{,}0\ \mu\text{m}$.

Longueur d'onde expérimentale. De $i = \dfrac{\lambda D}{b}$ on tire

$$\lambda_{\text{exp}} = \frac{i\,b}{D} = \frac{2{,}0 \times 10^{-6} \times 0{,}8 \times 10^{-6}}{35{,}0 \times 10^{-2}} = 4{,}57 \times 10^{-12}\ \text{m}$$

Incertitude.

$$\Delta\lambda = 4{,}57 \times 10^{-12} \times \sqrt{\left(\frac{0{,}2}{2{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{0{,}8}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{35{,}0}\right)^2} = 1{,}2 \times 10^{-12}\ \text{m}$$

Arrondie par excès à un chiffre significatif : $\Delta\lambda = 2 \times 10^{-12}\ \text{m}$, d'où $\lambda_{\text{exp}} = (5 \pm 2) \times 10^{-12}\ \text{m}$.

Comparaison. L'intervalle expérimental $[3\ ;\ 7]\ \text{pm}$ contient la valeur $5{,}6\ \text{pm}$ de la question 2.1.1 (intervalle $[5{,}1\ ;\ 6{,}1]\ \text{pm}$).

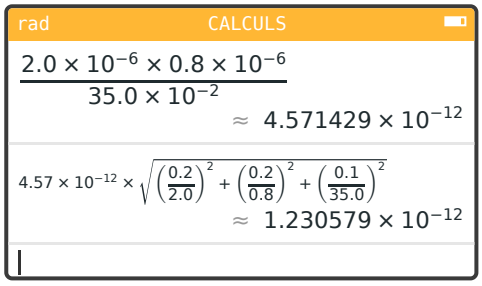
$\lambda_{\text{exp}} = (5 \pm 2) \times 10^{-12}\ \text{m}$: les observations sont cohérentes avec la valeur $(5{,}6 \pm 0{,}5) \times 10^{-12}\ \text{m}$ donnée par la relation de de Broglie.

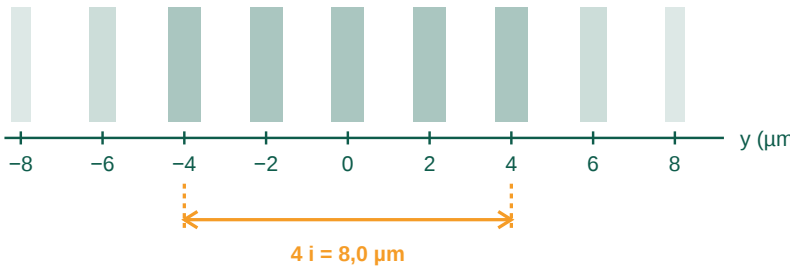
PIÈGE
Convertir i, b et D en mètres avant le calcul. Garder la valeur non arrondie $4{,}57 \times 10^{-12}$ pour calculer l'incertitude, et n'arrondir qu'à la fin.

COMPRENDRE
Le terme en $\Delta b/b$ (25 %) domine largement : c'est la distance entre les fentes, mal connue, qui limite la précision de la mesure.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs interfranges puis diviser : la lecture est plus précise que sur un seul. Deux résultats sont cohérents quand leurs intervalles, valeur ± incertitude, se recouvrent.

À LA CALCULATRICE





2.1.2 · Document 2 (5000 impacts) : lecture de quatre interfranges

2.2.1 Une seule fente, de largeur a, reste ouverte. Quel est le phénomène physique observé ?

Après la fente, les électrons ne restent pas sur l'axe Ox : ils se répartissent sur l'écran en une tache centrale large, bordée de taches secondaires beaucoup moins marquées, séparées par des zones où la probabilité de présence est nulle.

Le phénomène observé est la **diffraction** de l'onde de matière associée aux électrons par la fente.

COMPRENDRE
La diffraction est, comme les interférences, propre aux ondes. Plus la fente est étroite, plus la tache centrale est large.

2.2.2 À partir du document 3, déterminer la valeur de l'angle θ.

Données utiles $D = 35{,}0\ \text{cm}$; document 3 : première annulation en $y = 8\ \mu\text{m}$; $\tan\theta \approx \theta$

Sur le schéma, M est le bord de la tache centrale, c'est-à-dire la première annulation de la densité de probabilité. Le document 3 donne $OM = 8{,}0\ \mu\text{m}$ (demi-largeur de la tache centrale).

Dans le triangle rectangle formé par la fente, O et M : $\tan\theta = \dfrac{OM}{D}$, et comme l'angle est petit, $\theta \approx \tan\theta$:

$$\theta = \frac{OM}{D} = \frac{8{,}0 \times 10^{-6}}{35{,}0 \times 10^{-2}} = 2{,}3 \times 10^{-5}\ \text{rad}$$

$\theta = 2{,}3 \times 10^{-5}\ \text{rad}$

PIÈGE
Prendre la largeur totale de la tache centrale ($16\ \mu\text{m}$) au lieu de sa demi-largeur : θ est repéré depuis l'axe Ox. L'angle obtenu est en radians, pas en degrés.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{8.0 \times 10^{-6}}{35.0 \times 10^{-2}} \approx 2.285714 \times 10^{-5}$$

2.2.3 À partir de la valeur de cet angle, retrouver l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de l'onde de matière associée à un électron.

Données utiles $a = 0{,}2\ \mu\text{m}$; θ (2.2.2)

Pour la diffraction par une fente de largeur a, l'angle θ entre le centre de la tache centrale et la première extinction vérifie $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$, avec θ en radians. Donc

$$\lambda = \theta\, a = 2{,}3 \times 10^{-5} \times 0{,}2 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-12}\ \text{m}$$

$\lambda \approx 5 \times 10^{-12}\ \text{m}$: quelques picomètres, le même ordre de grandeur que la valeur $5{,}6 \times 10^{-12}\ \text{m}$ de la question 2.1.1.

COMPRENDRE
Un seul chiffre significatif, comme a. On retrouve exactement la valeur de la question 2.1.2 : le document 3 a été construit avec $b = 4a$ et $OM = 4i$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{8.0 \times 10^{-6}}{35.0 \times 10^{-2}} \times 0.2 \times 10^{-6} \approx 4.571429 \times 10^{-12}$$

La synthèse du méthacrylate de méthyle

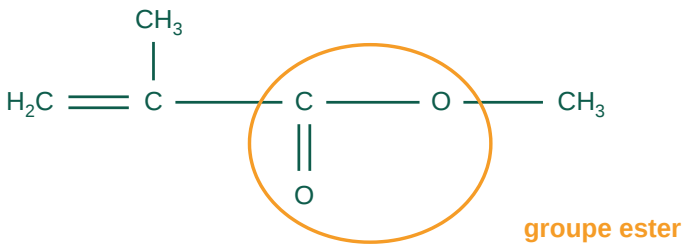
Bac S 2014 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Écrire la formule semi-développée du MAM en entourant son groupe caractéristique et nommer la famille chimique associée.

Dans la formule topologique, chaque sommet ou extrémité de trait est un atome de carbone, complété par des atomes d'hydrogène jusqu'à quatre liaisons. On obtient $CH_2{=}C(CH_3){-}CO{-}O{-}CH_3$, formule développée sur la figure ci-dessous.

Le groupe caractéristique entouré est le groupe ester $-CO-O^-$.

Le MAM appartient à la famille des **esters**.



1.1 · Formule semi-développée du MAM, groupe caractéristique entouré

PIÈGE
Entourer seulement $C{=}O$: ce serait un groupe carbonyle. Le groupe ester réunit le carbone, l'oxygène doublement lié et l'oxygène simplement lié.

MÉTHODE
Contrôle rapide : la formule brute obtenue, $C_5H_8O_2$, doit redonner la masse molaire du tableau, soit $5 \times 12{,}0 + 8 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0 = 100{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

1.2 Cette molécule possède-t-elle des stéréoisomères ? Justifier.

Deux stéréoisomères ont la même formule semi-développée mais diffèrent par la disposition de leurs atomes dans l'espace.

- Aucun atome de carbone du MAM n'est lié à quatre groupes différents : il n'y a pas de carbone asymétrique, donc pas d'énantiomères.
- Un des carbones de la double liaison $C{=}C$ porte deux atomes d'hydrogène identiques : il n'existe pas d'isomérie Z/E.

Le MAM ne possède **aucun stéréoisomère de configuration**. Seules existent des conformations différentes, obtenues par rotation autour des liaisons simples.

COMPRENDRE
Une isomérie Z/E exige que chacun des deux carbones de la double liaison porte deux groupes différents. Ici $=CH_2$ suffit à l'exclure.

COMPRENDRE
Le carbone asymétrique et l'énantiomérie relèvent de l'ancien programme de Terminale S : ils ne figurent plus dans le programme actuel de spécialité.

2.1 Associer aux réactions A, C et D une catégorie de réaction parmi : élimination, addition, substitution. Justifier.

- **A : addition.** Deux réactifs donnent un seul produit ; les atomes de HCN se fixent sur la propanone, dont la double liaison $C{=}O$ devient une liaison simple.
- **C : substitution.** Deux réactifs donnent deux produits ; dans la molécule, le groupe $-NH_2$ est remplacé par le groupe $-OCH_3$.
- **D : élimination.** Un seul réactif donne deux produits ; le départ de OH et d'un H voisin (une molécule d'eau) crée la double liaison $C{=}C$.

A : addition ; C : substitution ; D : élimination.

MÉTHODE
Compter les espèces : 2 réactifs → 1 produit, addition ; 1 réactif → 2 produits, élimination ; 2 réactifs → 2 produits avec échange de groupes, substitution. Vérifier ensuite l'apparition ou la disparition d'une liaison multiple.

2.2 Recopier l'équation de la première étape du mécanisme de la réaction A, ajouter les doublets libres manquants, représenter les flèches courbes et justifier précisément leur orientation.

Données utiles électronégativités : C : 2,5 ; O : 3,5

Doublets non liants (figure) : un sur C et un sur N dans l'ion cyanure, deux sur O dans la propanone ; dans le produit, un sur N et trois sur l'atome O chargé négativement. Chaque atome C, N, O est ainsi entouré de quatre doublets (règle de l'octet).

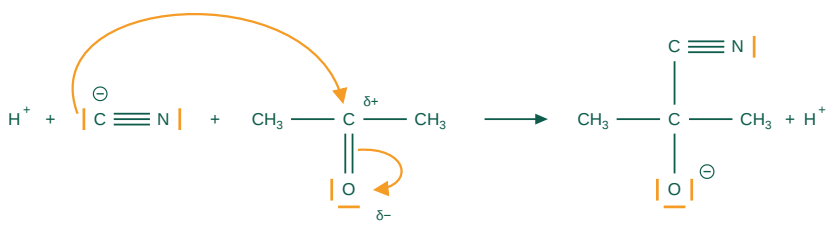
Une flèche courbe part d'un doublet d'un site donneur et pointe vers un site accepteur.

- L'oxygène $(3{,}5)$ est plus électronégatif que le carbone $(2{,}5)$: la liaison $\mathrm{C{=}O}$ est polarisée, le carbone central de la propanone porte une charge partielle $\delta+$. C'est un site accepteur de doublet.
- Le carbone de l'ion cyanure porte un doublet non liant et une charge négative : c'est un site donneur.

Première flèche : du doublet non liant du carbone de $\mathrm{CN^-}$ vers le carbone $\delta+$ (formation de la liaison $\mathrm{C{-}C}$). Seconde flèche : d'un doublet de la liaison $\mathrm{C{=}O}$ vers l'atome O, qui devient $\mathrm{O^-}$.

PIÈGE
Faire partir une flèche d'une charge, d'un atome ou de $\mathrm{H^+}$. Une flèche part toujours d'un doublet (liant ou non liant). L'ion $\mathrm{H^+}$, inchangé, ne reçoit aucune flèche à cette étape.

COMPRENDRE
La seconde flèche est indispensable : sans elle, le carbone central aurait cinq liaisons. Le doublet rabattu se retrouve sur O, d'où ses trois doublets non liants et sa charge négative.



2.2 · Première étape du mécanisme de la réaction A : doublets non liants et flèches courbes (en orange)

2.3.1 La spectroscopie IR permet-elle de différencier la propanone, le méthanoate de méthyle et le MAM ? Justifier.

Données utiles table IR du sujet (nombres d'onde en $\mathrm{cm^{-1}}$)

Bandes attendues d'après les liaisons présentes :

- propanone $\mathrm{CH_3{-}CO{-}CH_3}$: $\mathrm{C{=}O}$ cétone (1650 - 1730), $\mathrm{C_{tet}{-}H}$ (2800 - 3000) ; pas de bande $\mathrm{C_{tet}{-}O}$;
- méthanoate de méthyle $\mathrm{HCOOCH_3}$: $\mathrm{C{=}O}$ ester (1700 - 1740), $\mathrm{C_{tet}{-}O}$ (1050 - 1450), $\mathrm{C_{tet}{-}H}$;
- MAM : les mêmes bandes d'ester, et en plus $\mathrm{C{=}C}$ (1625 - 1685) et $\mathrm{C_{tri}{-}H}$ (3000 - 3100).

Oui : seul le MAM présente la bande $\mathrm{C{=}C}$, et seule la propanone ne présente pas de bande $\mathrm{C_{tet}{-}O}$.

COMPRENDRE
Les intervalles des $\mathrm{C{=}O}$ cétone et ester se recouvrent entre 1700 et $1730\ \mathrm{cm^{-1}}$: cette bande seule ne suffit pas. La distinction repose sur les autres bandes, dont $\mathrm{C_{tet}{-}O}$, parfois difficile à repérer en dessous de $1500\ \mathrm{cm^{-1}}$.

2.3.2 La spectroscopie RMN permet-elle de différencier ces trois espèces ? Justifier avec l'allure des spectres obtenus.

Données utiles table RMN du sujet : CH_3-C : 0,9 ppm ; $CH_3-O-CO-R$: 3,7 ppm

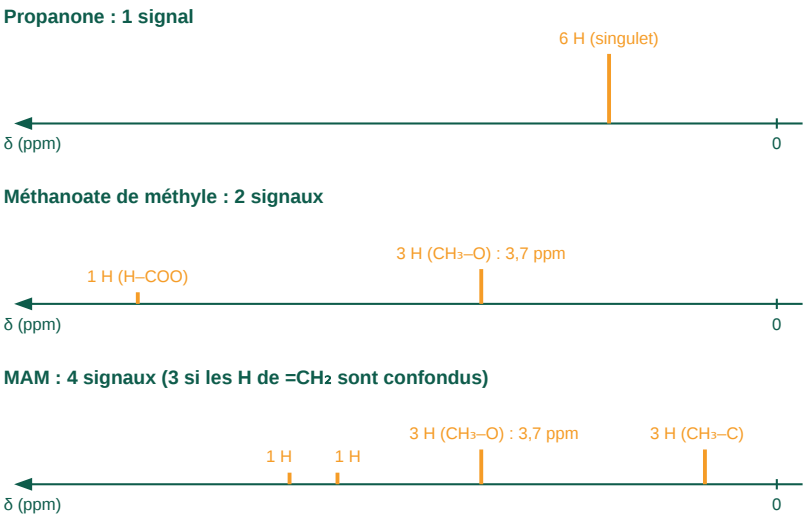
On compte les groupes de protons équivalents ; aucun proton n'a de voisin porté par un carbone adjacent, donc tous les signaux sont des singulets.

- Propanone : les 6 protons sont équivalents, **1 signal** (singulet, 6 H).
- Méthanoate de méthyle : **2 signaux**, un singulet pour $H-COO$ (1 H) et un singulet pour CH_3-O (3 H) vers 3,7 ppm.
- MAM : CH_3-O (singulet, 3 H, 3,7 ppm), CH_3-C (singulet, 3 H) et les 2 protons de $=CH_2$. Ces deux protons ne sont pas équivalents (pas de rotation autour de $C=C$, l'autre carbone portant deux groupes différents) : **4 signaux**, ou 3 si on les confond.

Oui : le nombre de signaux (1, 2, puis 3 ou 4) et la courbe d'intégration distinguent les trois espèces.

PIÈGE
Annoncer des multiplets par réflexe. La règle des $(n+1)$-uplets compte les protons portés par les carbones voisins : ici il n'y en a aucun, d'où uniquement des singulets.

COMPRENDRE
La RMN ne figure plus dans le programme actuel de spécialité. À retenir ici : un signal par groupe de protons équivalents, et une aire proportionnelle au nombre de protons du groupe.



2.3.2 · Allure des trois spectres de RMN (singulets ; hauteur proportionnelle au nombre de protons)

2.3.3 En quoi l'une, l'autre ou les deux spectroscopies apportent-elles des informations permettant de valider le procédé ?

Valider le procédé, c'est vérifier que le produit isolé est bien le MAM et qu'il ne contient plus les espèces de départ.

- **IR** : elle renseigne sur les liaisons. L'apparition des bandes $C=C$ (1625 - 1685 cm^{-1}) et $C_{tri}-H$, absentes des réactifs et des intermédiaires, montre que la déshydratation D a eu lieu ; les bandes $C=O$ ester et $C_{tet}-O$ confirment le groupe ester.
- **RMN** : elle renseigne sur l'enchaînement des atomes. Le spectre doit montrer les signaux du MAM avec des intégrations dans les rapports 3 / 3 / 2 (deux groupes CH_3 et $=CH_2$). L'absence du singulet unique de la propanone et du signal $H-COO$ du méthanoate de méthyle indique qu'il ne reste pas de réactif.

Les deux spectroscopies sont **complémentaires** : l'IR identifie les groupes caractéristiques formés, la RMN confirme la structure du MAM et l'absence des réactifs.

COMPRENDRE
Juste avant l'étape D, l'espèce possède deux groupes CH_3-C équivalents (6 H) pour un CH_3-O (3 H). Dans le MAM, ce rapport d'intégration passe de 6 / 3 à 3 / 3 : la RMN suit donc aussi la dernière étape.

2.4 Déterminer, en supposant les réactions totales, la masse de chaque réactif nécessaire à la production d'une tonne de MAM.

Données utiles $M(\text{MAM}) = 100{,}0$; $M(\text{propanone}) = 58{,}0$; $M(\text{HCN}) = 27{,}0$; $M(\text{HCOOCH}_3) = 60{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $m(\text{MAM}) = 1\ \text{t} = 1{,}00\times10^6\ \text{g}$

Quantité de MAM à produire :

$$n(\text{MAM}) = \frac{m(\text{MAM})}{M(\text{MAM})} = \frac{1{,}00\times10^6}{100{,}0} = 1{,}00\times10^4\ \text{mol}$$

D'après l'équation bilan du document 1, tous les nombres stœchiométriques valent 1 et la transformation est totale : chaque réactif est consommé en quantité $n = n(\text{MAM})$, d'où $m = n(\text{MAM})\times M$.

- Propanone : $m = 1{,}00\times10^4\times58{,}0 = 5{,}80\times10^5$ g
- Cyanure d'hydrogène : $m = 1{,}00\times10^4\times27{,}0 = 2{,}70\times10^5$ g
- Méthanoate de méthyle : $m = 1{,}00\times10^4\times60{,}0 = 6{,}00\times10^5$ g

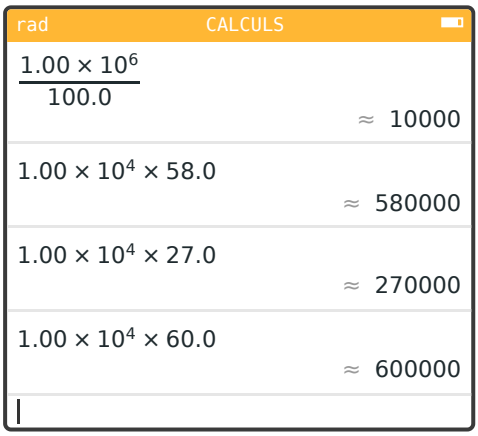
Il faut 580 kg de propanone, 270 kg de cyanure d'hydrogène et 600 kg de méthanoate de méthyle.

COMPRENDRE
Résultats à trois chiffres significatifs, comme les masses molaires ; « une tonne » est prise comme valeur exacte. Convertir la tonne en grammes avant de diviser par une masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

COMPRENDRE
La réaction E régénère HCN à partir du méthanamide : en régime continu, les 270 kg sont en grande partie recyclés et non achetés à chaque tonne produite.

MÉTHODE
Contrôle par conservation de la masse : il se forme aussi $1{,}00\times10^4\times45{,}0\ \text{g} = 450$ kg de méthanamide. Réactifs : $580+270+600 = 1450$ kg ; produits : $1000+450 = 1450$ kg.

À LA CALCULATRICE



3.1 Déterminer la valeur de l'économie d'atomes pour le procédé isobutène. Commenter le résultat obtenu.

Données utiles $EA(\text{ACH}) = 0{,}465$; $EA(\text{MGC}) = 0{,}690$; $M(\text{isobutène}) = 56{,}0$; $M(\text{O}_2) = 32{,}0$; $M(\text{CH}_3\text{OH}) = 32{,}0$; $M(\text{MAM}) = 100{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Équation bilan (document 5) : 1 isobutène $+\ \frac{3}{2}\,\text{O}_2 + 1\ \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 1$ MAM $+\ 2\,\text{H}_2\text{O}$. Avec la définition du document 3 :

$$EA = \frac{1\times M(\text{MAM})}{1\times M(\text{isobutène}) + \frac{3}{2}\times M(\text{O}_2) + 1\times M(\text{CH}_3\text{OH})}$$

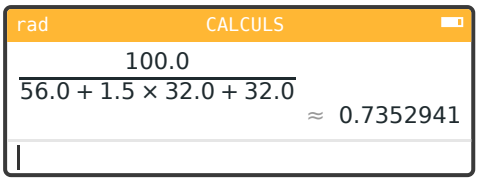
$$EA = \frac{100{,}0}{56{,}0 + 1{,}5\times32{,}0 + 32{,}0} = \frac{100{,}0}{136{,}0} = 0{,}735$$

$EA(\text{isobutène}) = 0{,}735$: c'est la valeur la plus proche de 1 ($0{,}735 > 0{,}690 > 0{,}465$). Ce procédé est le plus efficace en économie d'atomes, donc celui qui génère le moins de déchets.

PIÈGE
Oublier le nombre stœchiométrique $\frac{3}{2}$ devant $M(\text{O}_2)$: on trouverait $0{,}833$. Le dénominateur ne contient que les réactifs, jamais l'eau produite.

COMPRENDRE
La chimie verte et l'économie d'atomes ne sont plus au programme actuel de spécialité. Le calcul reste un simple rapport de masses molaires pondérées, et EA n'a pas d'unité.

À LA CALCULATRICE



3.2 Comparer, en une vingtaine de lignes au maximum, les trois procédés (ACH, MGC et voie isobutène) et conclure si l'un d'eux peut être privilégié du point de vue des principes de la chimie verte.

Déchets et économie d'atomes. Le procédé ACH a la plus faible économie d'atomes ($0{,}465$) : chaque tonne de MAM s'accompagne de $2200\ \text{kg}$ d'hydrogénosulfate d'ammonium, difficile à valoriser. Le procédé MGC fait mieux ($0{,}690$) et son sous-produit, le méthanamide, est retransformé en cyanure d'hydrogène réutilisé à l'étape A. La voie isobutène est la meilleure ($0{,}735$) et ne rejette que de l'eau.

Toxicité. ACH et MGC emploient le cyanure d'hydrogène, toxique au point que son transport est interdit ; MGC le régénère sur place, ce qui limite les quantités à produire. ACH consomme en plus de l'acide sulfurique. La voie isobutène n'utilise ni l'un ni l'autre.

Énergie. Aucun procédé ne fonctionne dans les conditions ambiantes : $500\ ^\circ\text{C}$ pour les déshydratations du procédé MGC, de 280 à $365\ ^\circ\text{C}$ pour la voie isobutène ; le document 4 ne précise rien pour ACH.

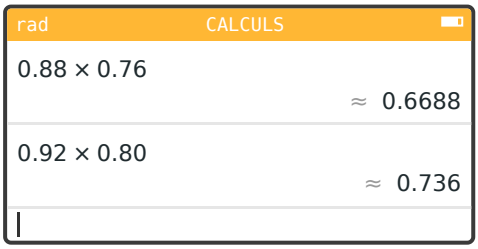
Regard critique. L'économie d'atomes ignore le rendement. ACH atteint 85 à 95 %, alors que les deux étapes de la voie isobutène donnent ensemble entre $0{,}88 \times 0{,}76 = 0{,}67$ et $0{,}92 \times 0{,}80 = 0{,}74$, soit 67 à 74 % : une partie des réactifs est perdue. Les documents ne disent rien non plus des solvants, des catalyseurs ni de la toxicité du méthanol.

La **voie isobutène** est à privilégier : meilleure économie d'atomes, eau pour seul sous-produit, pas de cyanure d'hydrogène. Elle ne respecte toutefois pas tous les principes (températures élevées, rendement global modeste).

PIÈGE
Conclure sur la seule économie d'atomes. Le sujet évalue l'esprit critique : il faut confronter ce critère au rendement, à la toxicité et aux besoins énergétiques, et signaler les informations manquantes.

MÉTHODE
Synthèse de documents : un paragraphe par critère du document 2 (déchets, toxicité, énergie), chaque affirmation appuyée sur une valeur chiffrée d'un document, puis une conclusion nuancée qui tranche.

À LA CALCULATRICE



Cogénération en exploitation agricole

Bac S 2014 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Vérifier la cohérence entre la composition du biogaz (document 1) et les données énergétiques du document 4.

Données utiles document 1 : biogaz à 60 % de méthane ; document 4 : 1 m³ de biogaz équivaut à 0,6 m³ de méthane

Document 1 : le biogaz contient 60 % de méthane CH_4, le reste (40 %) étant du CO_2 et du H_2S. Un volume de $1\ \text{m}^3$ de biogaz renferme donc $0{,}60 \times 1 = 0{,}6\ \text{m}^3$ de méthane.

Document 4 : la combustion de $1\ \text{m}^3$ de biogaz fournit autant d'énergie que celle de $0{,}6\ \text{m}^3$ de méthane.

Les deux valeurs coïncident : seul le méthane du biogaz libère de l'énergie en brûlant.

$1\ \text{m}^3$ de biogaz contient $0{,}6\ \text{m}^3$ de méthane : les documents 1 et 4 sont cohérents.

COMPRENDRE

Le dioxyde de carbone est déjà un produit de combustion : il ne brûle pas. L'apport du sulfure d'hydrogène, présent en très faible proportion, est négligé.

MÉTHODE

« Vérifier la cohérence » : extraire une valeur de chaque document, les ramener à la même grandeur (ici un volume de méthane par mètre cube de biogaz), puis conclure par une phrase.

2.1 Calculer en MW·h l'énergie libérée en un an par la combustion du biogaz, puis l'ordre de grandeur du volume de biogaz correspondant.

Données utiles document 3 : $E_{th} = 860$ MWh, $E_{el} = 830$ MWh, rendement global $\eta = 70\ \%$; document 4 : 1 m³ de méthane fournit 10 kWh ; 1 m³ de biogaz équivaut à 0,6 m³ de méthane

Énergie totale produite par le cogénérateur en un an : $E_{prod} = E_{th} + E_{el} = 860 + 830 = 1690\ \text{MWh}$.

Le rendement global est $\eta = \dfrac{E_{prod}}{E_{comb}}$, donc

$$E_{comb} = \frac{E_{prod}}{\eta} = \frac{1690}{0{,}70} = 2{,}4 \times 10^3\ \text{MWh}$$

Énergie fournie par $1\ \text{m}^3$ de biogaz : $0{,}6 \times 10 = 6\ \text{kWh}$.

$$V_{biogaz} = \frac{E_{comb}}{6\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}} = \frac{2{,}4 \times 10^6\ \text{kWh}}{6\ \text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}} = 4 \times 10^5\ \text{m}^3$$

$E_{comb} = 2{,}4 \times 10^3$ MWh par an ; $V_{biogaz} \approx 4 \times 10^5\ \text{m}^3$, soit un ordre de grandeur de $10^5\ \text{m}^3$.

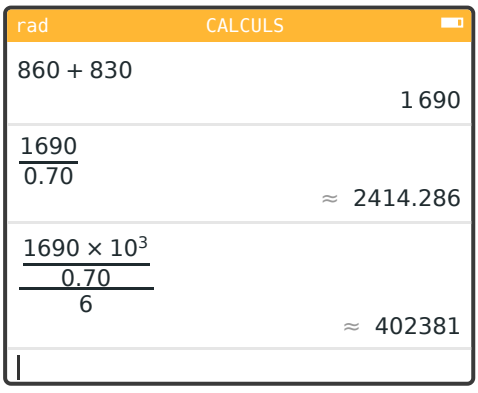
PIÈGE

Répondre 1690 MWh : c'est l'énergie produite par le cogénérateur, pas celle libérée par la combustion. Il faut diviser par le rendement, et non multiplier : l'énergie de combustion est la plus grande des deux.

COMPRENDRE

Le rendement 70 % a deux chiffres significatifs : on écrit $2{,}4 \times 10^3$ MWh. L'ordre de grandeur est la puissance de dix la plus proche : 4×10^5 est inférieur à 5×10^5, donc 10^5.

À LA CALCULATRICE



2.2 Déterminer, en m³, le volume d'eau qui peut être chauffé de 10 °C à 70 °C chaque année grâce à l'énergie thermique produite. Justifier que cette eau chaude suffit à la salle de traite et à plusieurs usagers.

Données utiles $E_{th} = 860$ MWh ; $c_{eau} = 4180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\rho_{eau} = 1000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; 1 kWh = 3600 kJ ; salle de traite : 200 L par jour

L'énergie thermique reçue par une masse m d'eau dont la température passe de θ_i à θ_f est

$$E_{th} = m\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i) = \rho_{eau}\, V_{eau}\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)$$

Conversion : $E_{th} = 860 \times 10^3\ \text{kWh} = 860 \times 10^3 \times 3600 \times 10^3\ \text{J} = 3{,}10 \times 10^{12}\ \text{J}$.

Écart de température : $\theta_f - \theta_i = 70 - 10 = 60\ ^\circ\text{C} = 60\ \text{K}$.

$$V_{eau} = \frac{E_{th}}{\rho_{eau}\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)} = \frac{3{,}10 \times 10^{12}}{1000 \times 4180 \times 60} = 1{,}2 \times 10^4\ \text{m}^3$$

Besoin annuel de la salle de traite : $200 \times 365 = 7{,}3 \times 10^4\ \text{L} = 73\ \text{m}^3$.

Ce besoin est environ 170 fois plus petit que le volume d'eau chaude disponible : il reste largement de quoi alimenter le réseau de chaleur des autres usagers.

$V_{eau} = 1{,}2 \times 10^4\ \text{m}^3$ par an, très supérieur aux $73\ \text{m}^3$ de la salle de traite.

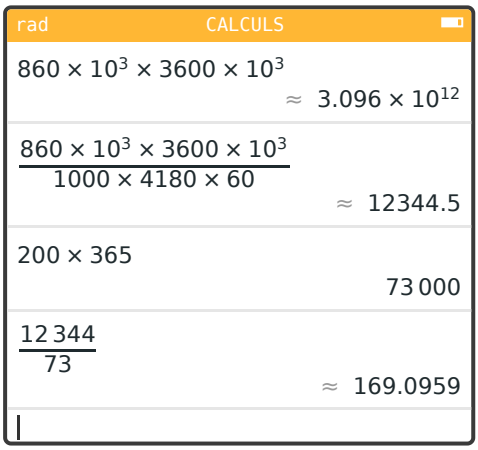
PIÈGE

Garder l'énergie en MWh ou en kJ alors que c_{eau} est en joules. Tout convertir en joules : 1 kWh = $3{,}6 \times 10^6$ J. Comparer aussi dans la même unité : 200 L par jour, c'est 73 m³ par an.

COMPRENDRE

Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile d'ajouter 273. Le résultat est un maximum : une partie de la chaleur sert à maintenir le digesteur à 37 °C (document 2).

À LA CALCULATRICE



2.3 Calculer l'énergie électrique annuelle produite par le cogénérateur à partir de sa puissance électrique. Comparer à une autre donnée du document 3 et interpréter l'écart.

Données utiles $P = 104$ kW ; document 3 : production électrique annuelle de 830 MWh

Pour un fonctionnement à puissance constante pendant une durée Δt : $E = P\,\Delta t$.

Durée d'une année : $\Delta t = 365 \times 24 = 8760$ h.

$$E = 104 \times 8760 = 9{,}11 \times 10^5 \text{ kWh} = 911 \text{ MWh}$$

Le document 3 annonce une production électrique annuelle de 830 MWh, inférieure d'environ 9 % à la valeur calculée.

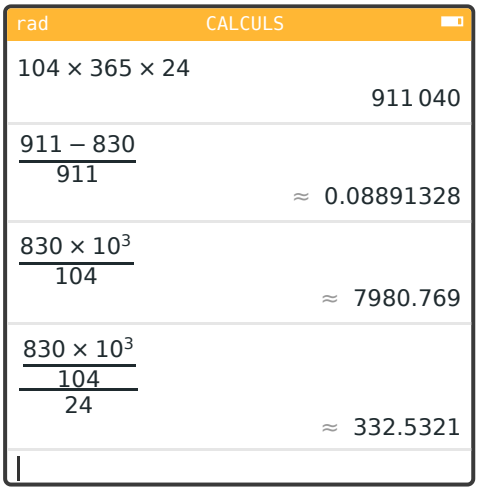
Interprétation : le calcul suppose un fonctionnement permanent à pleine puissance. En réalité, le cogénérateur est parfois arrêté (entretien, pannes) ou tourne à puissance réduite quand la production de biogaz est insuffisante. La production de 830 MWh correspond à $\dfrac{830 \times 10^3}{104} \approx 8{,}0 \times 10^3$ h à pleine puissance, soit environ 330 jours.

$E = 911$ MWh, contre 830 MWh annoncés : le cogénérateur ne fonctionne pas toute l'année à pleine puissance.

PIÈGE
S'arrêter après le calcul. La question demande trois choses : calculer, comparer (avec un écart chiffré), interpréter.

MÉTHODE
Avec une puissance en kW et une durée en heures, le produit donne directement des kWh : aucun passage par les joules n'est nécessaire.

À LA CALCULATRICE



3 Donner deux arguments montrant l'intérêt environnemental d'un dispositif méthanisation-cogénération dans une exploitation agricole.

Deux arguments parmi les suivants :

- Valorisation des déchets : 3200 tonnes de matière organique par an (fumier, résidus végétaux) deviennent une ressource énergétique au lieu d'être simplement stockées ou éliminées.
- Moins de gaz à effet de serre : l'installation évite l'émission d'environ 420 tonnes de $\mathrm{CO_2}$ par an.
- Énergie produite sur place à partir d'une ressource renouvelable : 830 MWh d'électricité et 860 MWh de chaleur par an (eau chaude pour environ $1{,}2 \times 10^4\ \mathrm{m^3}$, question 2.2) qui ne sont pas demandés à des combustibles fossiles.
- Le digestat sert d'engrais par épandage, ce qui limite le recours aux engrais de synthèse.

Deux arguments chiffrés, par exemple : 3200 t de déchets organiques valorisées par an et environ 420 t de $\mathrm{CO_2}$ économisées par an.

MÉTHODE

« En prenant appui sur les documents » : chaque argument s'accompagne d'une valeur ou d'un élément précis tiré d'un document. Deux arguments sont demandés : en rédiger deux nettement distincts.

Spécialité : Comment éliminer l'effet larsen ?

Bac S 2014 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Compléter la légende du document 1 de l'annexe en précisant la nature du signal pour les repères 3, 4 et 5.

Le microphone convertit l'onde sonore en signal électrique, l'amplificateur augmente l'amplitude de ce signal, puis le haut-parleur le convertit de nouveau en onde sonore.

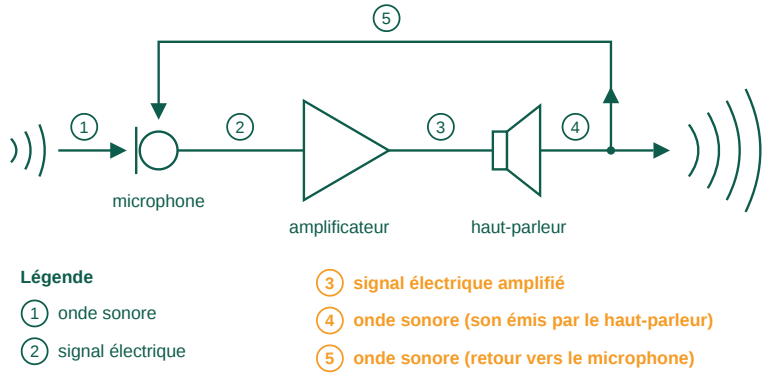
③ : signal électrique amplifié

④ : onde sonore (son émis par le haut-parleur)

⑤ : onde sonore (partie du son du haut-parleur qui revient vers le microphone)

③ : signal électrique amplifié ; ④ et ⑤ : ondes sonores.

PIÈGE
Le repère 5 n'est pas un fil. C'est le trajet dans l'air du son émis par le haut-parleur et capté de nouveau par le microphone : une onde sonore, pas un signal électrique.



1 · Document 1 de l'annexe, légende complétée (en orange)

2 Calculer la variation du niveau d'intensité sonore lorsque la distance à une source sonore isotrope double. Cette valeur est-elle compatible avec celle déduite du document 3 ?

Données utiles $I = \dfrac{P}{4\pi d^2}$; $L = 10\log\dfrac{I}{I_0}$; tableau du document 3

À la distance d : $I_1 = \dfrac{P}{4\pi d^2}$. À la distance $2d$: $I_2 = \dfrac{P}{4\pi(2d)^2} = \dfrac{I_1}{4}$.

L'intensité sonore est divisée par 4. La variation du niveau est :

$$\Delta L = L_2 - L_1 = 10\log\frac{I_2}{I_0} - 10\log\frac{I_1}{I_0} = 10\log\frac{I_2}{I_1} = 10\log\frac{1}{4} = -6{,}0 \text{ dB}$$

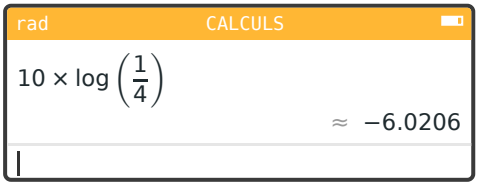
Document 3, première ligne : 92 dB à 1 m et 86 dB à 2 m ; 78 dB à 5 m et 72 dB à 10 m ; 68 dB à 15 m et 62 dB à 30 m. L'écart vaut chaque fois -6 dB.

$\Delta L = -10\log 4 \approx -6$ dB : le niveau baisse de 6 dB quand la distance double, ce qui est compatible avec le document 3.

PIÈGE
Diviser le niveau par 4 ou par 2. C'est l'intensité I qui est divisée par 4 ; le niveau L, lui, diminue de 6 dB, quelle que soit sa valeur de départ.

MÉTHODE
Une différence de niveaux ne dépend que du rapport des intensités : $L_2 - L_1 = 10\log\dfrac{I_2}{I_1}$. Ni P ni I_0 ne sont nécessaires.

À LA CALCULATRICE



3 L'éloignement du haut-parleur du microphone permet-il à lui seul d'éviter l'effet Larsen dans cette salle ? Justifier par des calculs, puis proposer deux autres pistes pour limiter l'apparition de cet effet.

Données utiles salle 13 m × 5 m × 2,5 m ; $P = 12\ \mu\text{W}$; orateur à 1 m du microphone ; $L = 85$ dB à 1 m du haut-parleur ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$; -6 dB quand la distance double (Q2)

Critère (document 1). L'effet Larsen apparaît si, au niveau du microphone, le son venant du haut-parleur a un niveau supérieur à celui de la voix.

Niveau de la voix au microphone ($d = 1$ m) :

$$I_v = \frac{P}{4\pi d^2} = \frac{12 \times 10^{-6}}{4\pi \times 1^2} = 9{,}5 \times 10^{-7}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$L_v = 10\log\frac{I_v}{I_0} = 10\log\frac{9{,}5 \times 10^{-7}}{1{,}0 \times 10^{-12}} = 60\ \text{dB}$$

Niveau du son du haut-parleur au microphone. Dans le document 3, la ligne qui commence par 85 dB à 1 m donne 61 dB à 15 m et 59 dB à 20 m : pour descendre sous 60 dB, il faut une distance D comprise entre 15 m et 20 m.

Par le calcul : l'intensité varie en $1/D^2$, donc $L(D) = 85 - 20\log D$ avec D en mètres. La condition $L(D) < 60$ dB donne $D > 10^{(85-60)/20} \approx 18$ m.

Dimensions de la salle. La plus grande distance possible au sol est la diagonale : $\sqrt{13^2 + 5^2} \approx 14$ m. À cette distance, $L = 85 - 20\log 14 = 62$ dB, valeur encore supérieure à 60 dB.

L'éloignement ne suffit pas : il faudrait $D \approx 18$ m alors que la salle n'offre que 14 m au plus ; le son du haut-parleur arrive au microphone à 62 dB au moins, contre 60 dB pour la voix.

Deux autres pistes.

Utiliser un microphone directionnel (microphone n°2 du document 4) et l'orienter vers l'orateur en lui faisant tourner le dos au haut-parleur : à 180°, sa sensibilité est réduite d'environ 10 dB, ce qui revient à capter le son du haut-parleur à $62 - 10 = 52$ dB au lieu de 62 dB.

Rapprocher l'orateur du microphone : chaque division de la distance par 2 ajoute 6 dB (Q2), soit 66 dB à 0,5 m et 72 dB à 0,25 m. La ligne 85 dB du document 3 indique 71 dB à 5 m : une distance D de 5 m suffit alors. On peut aussi diminuer le gain de l'amplificateur.

PIÈGE
Comparer 85 dB et 60 dB sans réfléchir aux positions. Les deux niveaux se comparent au même endroit, celui du microphone : 85 dB est mesuré à 1 m du haut-parleur, pas à la distance D.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme P et I_0 : 59,8 dB s'arrondit à 60 dB. Le tableau du document 3 est donné au décibel près, les niveaux se comparent donc à l'unité.

MÉTHODE
Question ouverte : 1) écrire le critère tiré du document ; 2) calculer chaque grandeur à comparer, au même point ; 3) confronter à la contrainte (ici la taille de la salle) ; 4) conclure par une phrase chiffrée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{12 \times 10^{-6}}{4 \times \pi \times 1^2} \approx 9.549297 \times 10^{-7}$$

$$10 \times \log\left(\frac{12 \times 10^{-6}}{4 \times \pi \times 1^2 \times 1.0 \times 10^{-12}}\right) \approx 59.79971$$

$$10^{\frac{85-60}{20}} \approx 17.78279$$

$$\sqrt{13^2 + 5^2} \approx 13.92839$$

$$85 - 20 \times \log(14) \approx 62.07744$$