

EXERCICE A. PARTIE CHIMIE (10 points)

CONTROLE DE LA QUALITE D'UN BIBERON

CENTRES ÉTRANGERS JOUR 1 JUIN 2023

Partie A – Dosage spectrophotométrique des ions nitrate dans une eau

1. En présence d'un excès d'acide 2,4-phénoldisulfonique la solution prend une teinte jaune plus ou moins prononcée selon la concentration en ions nitrate.

La solution est perçue de couleur jaune, c'est qu'elle absorbe des radiations de couleur complémentaire donc de couleur bleue de longueur d'onde comprise entre 424 et 491 nm.

Parmi les longueurs d'onde proposées, on choisit $\lambda = 440$ nm ainsi l'absorbance sera plus forte et l'incertitude relative sur la mesure sera plus petite.

Réponse élève (quasi la totalité des élèves).

« On sélectionne une longueur d'onde de 580 nm, car la solution est jaune et donc absorbe entre 575 et 585 nm »

Totalement faux. Si la solution est jaune, elle diffuse le jaune et donc absorbe la couleur complémentaire, c'est-à-dire le bleu. Donc on sélectionne une longueur d'onde dans le domaine du bleu.

2. En plus de pré-sélectionner la longueur d'onde adaptée, il faut effectuer « un blanc ».

Placer une cuve remplie d'eau et régler la transmittance à 100

Ceci afin de ne pas tenir compte dans la suite du T_p , de l'absorbance due au solvant eau et des parois de la cuve.

Seule l'absorbance due à la teinte de la solution sera alors prise en compte dans la suite des mesures.

Réponse élève (quasi la totalité des élèves).

Très peu d'élèves ont su donner une réponse complète :

- Ne plus savoir qu'on appelle cette opération un blanc.
- Ne pas être capable de m'expliquer les étapes à suivre
- Ne pas expliquer les raisons de ce pré-réglage

3. On demande de préparer une solution fille de concentration en masse 0,02 g/L à partir d'une solution mère de concentration en masse 0,1 g/L.

Soit une dilution d'un facteur $\frac{0,1}{0,02} = 5$

Pour préparer 25 mL de cette solution fille comme il est demandé, je vais donc :

- Prélever à l'aide d'une pipette jaugée un volume de $\frac{25}{5} = 5$ mL de la solution mère ;
- Que l'on verse dans une fiole jaugée de 25,0 mL ;
- On complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge à la goutte près.

Réponse élève

Ne pas être capable de répondre à cette question de niveau seconde est inadmissible.

Me parler de bécher au lieu de fiole, de pipette graduée au lieu de pipette jaugée, et ne pas savoir calculer un facteur de dilution C'est navrant.

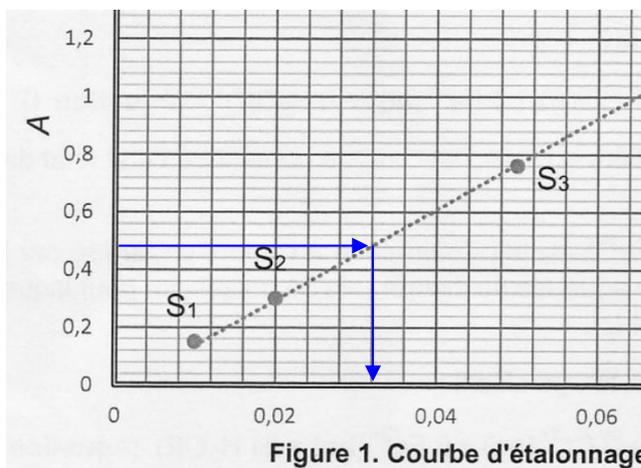
4. On cherche l'abscisse du point d'ordonnée $A = 0,48$. On lit $t_1 = 0,032$ g.L⁻¹.

$$5. \quad \frac{u(t_1)}{t_1} = \frac{15}{100}$$

$$\text{Soit } u(t_1) = t_1 \times \frac{15}{100}$$

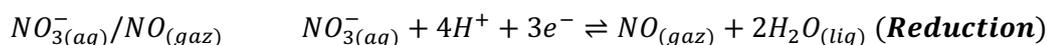
$$u(t_1) = 0,032 \times \frac{15}{100} = 4,8 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-3} \text{ g.L}^{-1}$$

$$\text{Ainsi } t_1 = 0,032 \pm 0,005 \text{ g.L}^{-1} = 32 \pm 5 \text{ mg.L}^{-1}$$



Partie B – Dosage par titrage conductimétrique des ions nitrate dans l'eau étudiée

6. On a donc les demi-équations :



Réponse élève

Confusion oxydation, réduction, erreur dans l'ordre des couples Fe^{2+}/Fe^{3+} Bref inadmissible à nouveau de se tromper

7. On peut identifier dans l'équation 2 :

- Le réactif titrant est dans la burette, c'est l'ion $Cr_2O_7^{2-}$.
- Le réactif titré est initialement dans l'erlenmeyer l'ion Fe^{2+} .

8. Une réaction chimique utilisée comme support de titrage, doit être :

- Unique ;
- Instantanée ;
- Totale

9. L'équivalence est l'instant du dosage où on change de réactif limitant :

- Avant l'équivalence c'est le réactif titrant qui est limitant;
- Après l'équivalence c'est le réactif titré qui est limitant.

Autre définition : L'équivalence est l'instant du dosage où on a introduit les espèces titrantes et titrées dans les proportions stœchiométriques.

10. Au cours de la réaction de titrage, les ions Fe^{2+} sont consommés par les ions $Cr_2O_7^{2-}$

Les ions K^+ qui accompagnent les ions $Cr_2O_7^{2-}$ sont spectateurs et ne jouent donc aucun rôle.

Ils permettent d'assurer la neutralité électrique de la solution titrée, en « remplaçant » les ions Fe^{2+} .

Or d'après le tableau donné des conductivités ioniques, les ions K^+ sont moins bons conducteurs que les ions Fe^{2+}

La conductivité de la solution va donc diminuer.

La figure 2 permet de déterminer le volume à l'équivalence du titrage des ions Fe^{2+} par les ions $Cr_2O_7^{2-}$: ce point d'équivalence se situe à l'intersection des deux droites tracées (deux droites qui ont des pentes différentes)

Réponse élève

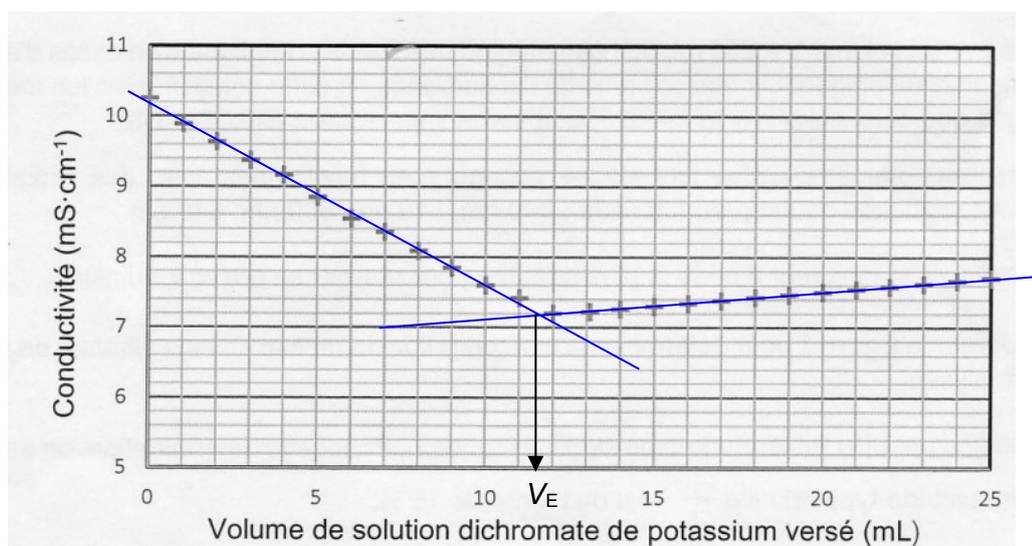
Très peu d'élèves ont su m'expliquer correctement les changements de pente. Et surtout vous n'avez pas compris que le principal responsable du caractère décroissant de la droite avant l'équivalence, c'est l'ion spectateur K^+ de la solution titrante.

Je répète, cet ion n'a aucun rôle dans l'équation du dosage en lui-même.

MAIS c'est cet ion qui « remplace » l'ion titré Fe^{2+} dans le milieu réactionnel pour maintenir la neutralité électrique de ce milieu réactionnel.

Or comme $\lambda_{K^+} < \lambda_{Fe^{2+}}$ d'après les données, on « remplace » donc l'ion titré par un ion spectateur « moins bon » conducteur... Donc la conductivité diminue.

11. On trace deux droites moyennes passant au plus près des points expérimentaux, on trouve l'abscisse de leur point d'intersection $V_{eq} = 11,5$ mL.



À l'équivalence du titrage, réalisé dans l'étape 2, les réactifs ont été introduits dans les proportions

stœchiométriques de l'équation (2) : $n_{Cr_2O_7^{2-}} = \frac{n(Fe^{2+})_{excès}}{6}$.

Soit $n(Fe^{2+})_{excès} = 6n_{Cr_2O_7^{2-}} = 6.C.V_E$

Ce qui donne $n(Fe^{2+})_{excès} = 6 \times 5,0 \times 10^{-2} \times 11,6 \times 10^{-3} = 3,48 \times 10^{-3} \text{ mol} = 3,5 \times 10^{-3} \text{ mol} = 3,5 \text{ mmol}$.

Cette valeur est très proche des 3,6 mmol indiquées.

La différence s'explique par la difficulté de lire le volume équivalent.

Avec $V_E = 12,0$ mL alors on a $n(Fe^{2+})_{excès} = 3,6 \text{ mmol}$.

12. Lors de l'étape 1, une partie des ions Fe^{2+} réagit et consomme tous les ions nitrate.

Il reste des ions Fe^{2+} en excès qui sont titrés lors de l'étape 2 en réagissant avec $Cr_2O_7^{2-}$.

$n(Fe^{2+})_{totale} = n(Fe^{2+})_{excès} + n(Fe^{2+})_{conso \text{ par } NO_3^-}$

donc $n(Fe^{2+})_{conso \text{ par } NO_3^-} = n(Fe^{2+})_{totale} - n(Fe^{2+})_{excès}$

D'après l'équation de la réaction (1), $n(\text{NO}_3^-) = \frac{n(\text{Fe}^{2+})_{\text{conso par NO}_3^-}}{3}$

$$3n(\text{NO}_3^-) = n(\text{Fe}^{2+})_{\text{conso par NO}_3^-}$$

Ce qui donne $3n(\text{NO}_3^-) = n(\text{Fe}^{2+})_{\text{totale}} - n(\text{Fe}^{2+})_{\text{excès}}$

$$\text{Soit } n(\text{NO}_3^-) = \frac{1}{3} [n(\text{Fe}^{2+})_{\text{totale}} - n(\text{Fe}^{2+})_{\text{excès}}]$$

$$13. n(\text{NO}_3^-) = \frac{1}{3} \times [4,0 - 3,6] = 0,133 \text{ mmol} = 0,13 \text{ mmol}$$

$$t_2 = \frac{m_{\text{NO}_3^-}}{V} = \frac{n_{\text{NO}_3^-} \cdot M_{\text{NO}_3^-}}{V} \quad \text{soit} \quad t_2 = \frac{0,133 \times 10^{-3} \times 62,0}{0,2500} = 3,3 \times 10^{-2} \text{ g.L}^{-1} = 33 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$14. u(t_2) = t_2 \cdot \sqrt{\left(\frac{u(C)}{C}\right)^2 + \left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2}$$

Avec $C = 5,0 \times 10^{-2} \pm 0,2 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$; $V_E = 12,0 \pm 0,5 \text{ mL}$; $V = 250,0 \pm 0,2 \text{ mL}$

$$u(t_2) = 33 \times \sqrt{\left(\frac{0,2 \times 10^{-2}}{5,0 \times 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{12,0}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{250,0}\right)^2} = 2 \text{ mg.L}^{-1}$$

En arrondissant à un seul chiffre significatif.

Ainsi $t_2 = 33 \pm 2 \text{ mg.L}^{-1}$

15. L'introduction indique que d'après l'OMS, la concentration maximale en ions nitrate est de 50 mg.L^{-1} .

On a obtenu $t_1 = 32 \pm 5 \text{ mg.L}^{-1}$ et $t_2 = 33 \pm 2 \text{ mg.L}^{-1}$.

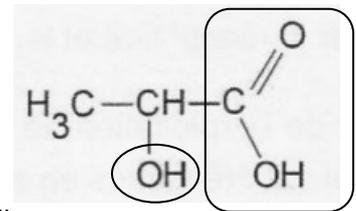
Ces deux concentrations en masse sont inférieures à 50 mg.L^{-1} , l'eau prélevée est potable.

Partie C – Combien de temps peut-on conserver un biberon préparé avec du lait en poudre ?

16. Il s'agit d'une représentation semi-développée.

17. On identifie :

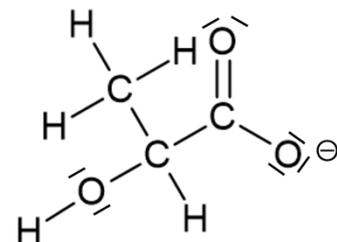
- Le groupe OH hydroxyle de la famille des alcools ;
- Le groupe COOH carboxyle de la famille des acides carboxyliques



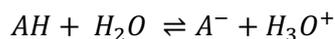
18. On parle de l'**acide 2-hydroxypropanoïque** car :

- **propan**, la chaîne principale carbonée compte 3 atomes de carbone ;
- **acide ... oïque** car on identifie le groupe carboxyle
- **hydroxy** car on identifie le groupe OH
- porté en position **2**.

19. Schéma de Lewis de l'ion lactate



20. La réaction chimique associée au K_A du couple acide/base AH/A^- est forcément la réaction entre l'acide AH du couple et l'eau H_2O base du couple H_3O^+/H_2O , ce qui donne



21. Un acide AH est une espèce chimique capable de céder un proton H^+ : $AH \rightleftharpoons A^- + H^+$

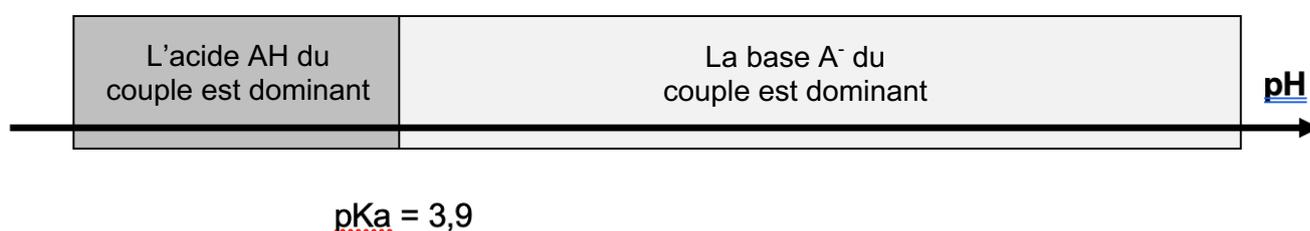
A l'inverse une base A^- est capable de gagner un proton H^+ .

22.
$$K_A = \frac{[A^-]_f \times [H_3O^+]_f}{[AH]_f \times C^0}$$

23. On a donc
$$\frac{[A^-]_f}{[AH]_f} = \frac{K_A \times C^0}{[H_3O^+]_f} = \frac{10^{-3,9} \times 1,0}{10^{-6,2}} = 10^{2,3} = 199,5 \approx 200$$

On retrouve effectivement que la concentration en ions lactate A^- est environ 200 fois supérieure à celle en acide lactique AH .

24. Le diagramme de prédominance :



Le pH du lait vaut 6,2, il est supérieur au pK_a donc la base conjuguée A^- prédomine sur l'acide AH .

Réponse élève

Cela manque de soin, c'est brouillon, on ne comprend rien à vos diagrammes de prédominance.

Dosage de l'acide lactique

25. Réaction de dosage : $AH(aq) + HO^-(aq) \rightarrow A^-(aq) + H_2O(\ell)$

26. À l'équivalence les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques,

$$n_{AH \text{ initiale}} = n_{HO^- \text{ versée}} \quad \text{soit} \quad \frac{m_{AH}}{M_{AH}} = c_B \cdot V_{BE} \quad \text{donc} \quad m_{AH} = c_B \cdot V_{BE} \cdot M_{AH}$$

$$c_{mAH} = \frac{m_{AH}}{V_L} = \frac{c_B \cdot V_{BE} \cdot M_{AH}}{V_L} = \frac{2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \times 12,2 \text{ mL} \times 90,0 \text{ g.mol}^{-1}}{40,0 \text{ mL}} = 0,549 = 0,55 \text{ g.L}^{-1}$$

27. La valeur du volume de lait V_L a une influence sur la valeur de V_{BE} .

En effet, on peut considérer que l'ajout d'eau ne modifie pas la quantité d'acide lactique dans le lait.

Suivi temporel de la concentration en acide lactique dans plusieurs échantillons

28. Les échantillons 2 et 3 sont respectivement à 20°C et 30°C. Leur température est plus élevée que celle de l'échantillon 1.

La température est un facteur cinétique, plus elle est élevée et plus l'acide lactique se forme rapidement.

La courbe (a) montre une croissance plus rapide de la concentration en acide lactique, elle correspond à l'échantillon le plus chaud donc l'échantillon 3.

Et la courbe (b) correspond à l'échantillon 2.

Le lait n'est plus considéré comme frais si son acidité dépasse 18°D.

Or 1°D correspond à 0,10 g d'acide lactique par litre de lait.

Donc si la concentration dépasse $18 \times 0,10 = 1,8 \text{ g.L}^{-1}$ alors le lait n'est plus frais.

Pour l'échantillon 3, la courbe (a) dépasse la valeur de $1,8 \text{ g.L}^{-1}$ au bout d'environ 23 h.

Pour l'échantillon 2, la courbe (b) nous montre qu'il n'est plus frais au bout d'environ 42 h.

Ainsi il faut 23 h à l'échantillon 3 pour ne plus être considéré comme frais, et 42 h pour l'échantillon 2.

EXERCICE B. PARTIE PHYSIQUE (10 points)

COMPRENDRE LES NUAGES

A. Nuage et précipitations

$$1. P = m.g = \rho_{\text{eau}}.V.g = \rho_{\text{eau}}.\frac{4}{3}.\pi.r^3.g$$

$$P = 1000 \text{ kg.m}^{-3} \times \frac{4}{3} \times \pi \times (10 \times 10^{-6} \text{ m})^3 \times 9,81 \text{ m.s}^{-2} = 4,1 \times 10^{-11} \text{ N}$$

$$2. F = k.\eta.r.v = 18,8 \times 15 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1} \times 10 \times 10^{-6} \text{ m} \times 0,10 \text{ m.s}^{-1} = 2,8 \times 10^{-10} \text{ N} = 28 \times 10^{-11} \text{ N}$$

3. Dans le référentiel du sol, la goutte est initialement immobile.

Elle subit deux forces verticales colinéaires opposées.

La force exercée par l'air est orientée vers le haut et elle est plus forte que la force poids orientée vers le bas.

Ainsi la goutte monte.

4. Pour tomber il faut que $P > F$ avec une vitesse initiale nulle. La valeur de F est inchangée.

$$\rho_{\text{eau}}.\frac{4}{3}.\pi.r^3.g > k.\eta.r.v \quad \text{soit} \quad r^2 > \frac{k.\eta.v}{\rho_{\text{eau}}.\frac{4}{3}.\pi.g} \quad \text{ce qui donne} \quad r > \sqrt{\frac{3k.\eta.v}{\rho.4.\pi.g}}$$

$$\text{Application numérique : } r > \sqrt{\frac{3 \times 18,8 \times 15 \times 10^{-6} \times 0,10}{1000 \times 4 \times \pi \times 9,81}} \quad \text{soit} \quad r > 2,6 \times 10^{-5} \text{ m (26 } \mu\text{m)}$$

B. Earthcare, un satellite pour étudier les nuages

$$5. \vec{F}_{T/S} = G.\frac{M_T.M_S}{(R_T+h)^2}.\vec{u}_n$$

6. On procède dans l'ordre :

- J'étudie le système : {Satellite EarthCare}
- Dans un référentiel géocentrique considéré galiléen
- Inventaire des forces : uniquement la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre
- Je peux appliquer la deuxième loi de Newton : $\vec{F}_{T/S} = M_S.\vec{a}$

$$\text{Ce qui donne } \frac{G.M_T.M_S}{(R_T+h)^2}.\vec{u}_n = M_S.\vec{a} \quad \text{soit} \quad \vec{a} = \frac{G.M_T}{(R_T+h)^2}.\vec{u}_n$$

- Dans le repère de Frenet, $\vec{a} = \frac{dv}{dt}.\vec{u}_\tau + \frac{v^2}{R_T+h}.\vec{u}_n$
- Par analogie entre ces deux expressions de \vec{a} , on en déduit que selon \vec{u}_τ : $\frac{dv}{dt} = 0$.
- Le mouvement du satellite est bien uniforme si la trajectoire est considérée circulaire.

Réponse élève

C'est toujours brouillon. Manque de rigueur.

7. Par analogie entre les deux expressions de \vec{a} , on en déduit que selon \vec{u}_n : $\frac{v^2}{R_T + h} = \frac{G.M_T}{(R_T + h)^2}$.

$$\text{Soit } v^2 = \frac{G.M_T}{R_T + h}, \text{ donc } v = \sqrt{\frac{G.M_T}{R_T + h}}.$$

8. Le satellite parcourt son orbite circulaire de rayon $R_T + h$ en une durée T , ainsi $v = \frac{2\pi.(R_T + h)}{T}$.

$$\text{Soit } \frac{2\pi.(R_T + h)}{T} = \sqrt{\frac{G.M_T}{R_T + h}} \quad \text{donc} \quad \frac{(2\pi)^2.(R_T + h)^2}{T^2} = \frac{G.M_T}{R_T + h}$$

$$\text{Ce qui donne} \quad T^2 = \frac{(2\pi)^2.(R_T + h)^3}{G.M_T} \quad \text{et} \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G.M_T}}$$

9. Application numérique : $T = 2\pi\sqrt{\frac{((6,37 \times 10^3 + 390) \times 10^3)^3}{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}} = 5,53 \times 10^3 \text{ s}$

$$\text{Nombre de tours de la Terre } N = \frac{24 \times 3600}{5,53 \times 10^3} = 15,6 \text{ tours}$$

Ce qui est en accord avec environ 16 tours de la Terre.

Réponse élève

Il faut faire attention aux unités :

- Le rayon de la Terre $R_T = 6,37 \times 10^3 \text{ km} = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$
- de même l'altitude du satellite $h = 390 \text{ km} = 390 \times 10^3 \text{ m}$.

C. Radar profileur de nuage

10. On appelle onde le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu, sans transport de matière mais avec transfert d'énergie.

11. Onde mécanique : Onde qui a besoin d'un milieu matériel pour se propager.

Onde non mécanique : Onde qui peut se propager dans le vide.

Onde sonore : Onde mécanique

12. La période temporelle T d'une onde progressive correspond à la plus petite durée pour que chaque point se retrouve dans le même état vibratoire après le passage de l'onde périodique. Elle s'exprime en seconde.

La période spatiale d'une onde progressive périodique correspond à la plus petite distance séparant 2 points du milieu présentant le même état vibratoire dans un milieu traversé par une onde périodique. Elle s'exprime en mètres. Elle est appelée longueur d'onde λ .

13. La fréquence d'une onde, notée f et qui s'exprime en Hertz (Hz), représente le nombre de fois où un phénomène physique se répète par seconde.

Réponse élève

Je passe sous silence les élèves qui après 4 contrôles depuis le début de l'année, ne connaissant toujours pas ces définitions que j'ai posées à chaque contrôle.

14. On applique la relation donnée : $\lambda = \frac{c}{f}$

La valeur de c est supposée connue du candidat.

$$\text{Ce qui donne } \lambda = \frac{3,00 \times 10^8}{94,05 \times 10^9} = 3,19 \times 10^{-3} \text{ m} = 3,19 \text{ mm}$$

Pour être exploitable le signal doit posséder une longueur d'onde 10 fois supérieure à celle du diamètre des gouttes.

Donc en considérant les plus grosses gouttes, la longueur d'onde doit être supérieure à :

$$10 \times 100 \mu\text{m} = 10 \times 100 \times 10^{-6} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m} = 1 \text{ mm.}$$

On a bien λ supérieure à 1 mm, le signal est exploitable.

15. Durée d'un aller-retour du signal :

Distance nuage-satellite : Altitude du satellite $h = 390 \text{ km}$, altitude du nuage $h_n = 2 \text{ km}$

Donc $d = 390 - 2 = 388 \text{ km}$.

Le signal se déplace à la célérité de la lumière.

Attention le signal fait un aller-retour donc $D = 2d$.

$$c = \frac{D}{\Delta t} \text{ ainsi } \Delta t = \frac{D}{c} \quad \Delta t = \frac{2 \times 388 \times 10^3}{3,00 \times 10^8} = 2,59 \times 10^{-3} \text{ s.}$$

Distance parcourue par le satellite pendant cette durée :

$$d_s = v \cdot \Delta t = 7,5 \times 10^3 \times 2,59 \times 10^{-3} = 19 \text{ m}$$

Or la longueur du nuage est d'environ 1 km

On vérifie bien que la distance parcourue par le satellite est largement inférieure à la longueur du nuage.

D. Une expérience contestée

16. On peut déterminer I qui correspond à 160 dB.

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ donc } I = I_0 \cdot 10^{L/10}$$

$$I = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{160/10} = 1,0 \times 10^4 \text{ W.m}^{-2}$$

Et en déduire P car L est donné pour une distance de 1,0 m. $I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi d^2}$

Donc $P = I \cdot 4\pi d^2 = 1,0 \times 10^4 \times 4 \times \pi \times 1,0^2 = 4\pi \times 10^4 \text{ W}$ On n'arrondit pas ce résultat intermédiaire.

La puissance de la source sonore est la même quelle que soit la distance entre la source et l'auditeur.

Pour ne pas subir de gêne, il faut que le niveau sonore soit inférieur à disons $L_{OK} = 50 \text{ dB}$

$I_{OK} = I_0 \cdot 10^{L_{OK}/10}$ et $I_{OK} = \frac{P}{4\pi d_{OK}^2}$ où d_{OK} est la distance pour laquelle il n'y a pas de gêne

$$I_0 \cdot 10^{L_{OK}/10} = \frac{P}{4\pi d_{OK}^2}$$

2

$$d_{OK}^2 = \frac{P}{4\pi \cdot I_0 \cdot 10^{L_{OK}/10}}$$

$$d_{OK} = \sqrt{\frac{P}{4\pi \cdot I_0 \cdot 10^{L_{OK}/10}}}$$

$$d_{OK} = \sqrt{\frac{4\pi \times 10^4}{4\pi \times 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{50/10}}}$$

$$d_{OK} = \sqrt{\frac{10^4}{1,0 \times 10^{-12} \times 10^{-5}}} = \sqrt{1,0 \times 10^{11}} = 3,2 \times 10^2 \text{ km}$$

Le journaliste anglais indiquait que les ondes sonores sont à peine audibles. Cela est totalement faux. Elles peuvent être entendues à plus de 300 km.

(Mais cela est sans doute vrai en Angleterre depuis son bureau puisque la Chine est alors suffisamment lointaine)

Remarque : Le niveau d'intensité sonore des bombes atomiques utilisées en 1945 est estimé à 170 dB.