

Terminale spécialité

FEVRIER 2024

BAC BLANC

PHYSIQUE-CHIMIE

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

***L'énoncé EN ENTIER est à rendre avec la copie.
Il sera tenu compte de la propreté de la copie
De plus on tiendra compte du respect des chiffres significatifs dans les résultats.***

EXERCICE A. PARTIE CHIMIE (10 points)

CONTROLE DE LA QUALITE D'UN BIBERON

Mots-clés : Dosage spectrophotométrique, dosage par titrage conductimétrique, incertitudes, acide-base, schéma de Lewis, Constante d'acidité K_a .

Chez le nourrisson, les ions nitrate (NO_3^-) sont incriminés dans la survenue de la méthémoglobinémie (ou maladie bleue). La formation des ions nitrite, à partir des ions nitrate ingérés, est réalisée par la flore bactérienne intestinale. Chez les enfants, les ions nitrite en excès provoquent une moindre capacité des globules rouges à fixer et transporter l'oxygène.



C'est pourquoi la concentration en ions nitrate dans l'eau potable est réglementée, notamment pour la préparation des biberons [...].

Source : Observatoire régional de la santé Rhône-Alpes, 2007

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a fixé la concentration maximale en ions nitrate dans l'eau à $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Par ailleurs, indépendamment de la quantité d'ions nitrate, l'état de conservation d'un lait s'apprécie en mesurant son acidité.

Dans cet exercice, on se propose de :

- Vérifier par deux méthodes différentes si une eau supposée potable prélevée au robinet satisfait ou non à la recommandation de l'OMS concernant les nitrates (**partie A** et **partie B**) ;
- Déterminer combien de temps un biberon préparé peut être conservé avant consommation (**partie C**).

Partie A - Dosage spectrophotométrique des ions nitrate dans une eau

Par ajout d'acide 2,4-phénoldisulfonique, une solution aqueuse initialement incolore prend une **teinte jaune** plus ou moins prononcée selon sa concentration en ions nitrate NO_3^- .

La concentration en ion nitrate NO_3^- de cette solution peut alors être déterminée par la mesure de son absorbance à une longueur d'onde donnée.

Données

- *Absorption de la lumière du visible*

Longueurs d'onde d'absorption (nm)	400 - 424	424 - 491	491 - 575	575 - 585	585 - 647	647 - 850
Couleur absorbée	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Couleur complémentaire	jaune - vert	jaune	magenta	bleu	bleu - cyan	cyan

- *Protocole du dosage*

ÉTAPE 1 : obtention d'une courbe d'étalonnage

Pour vérifier la concentration en masse en ions nitrate NO_3^- d'une eau, on réalise dans un premier temps plusieurs dilutions d'une solution aqueuse S de nitrate de potassium de concentration en masse $t_{NO_3^-} = 1,0 \times 10^{-1} g/L$ (avec ajout d'acide 2,4-phénoldisulfonique).

On obtient alors une échelle de teintes à partir de cinq solutions filles S_1, S_2, S_3, S_4 et S_5 plus ou moins concentrées en ions nitrate.

On mesure ensuite l'absorbance A des différentes solutions filles à une longueur d'onde λ judicieusement choisie, puis on trace le graphe de l'absorbance A en fonction de la concentration en masse en ions nitrate $t_{NO_3^-}$ (**figure 1** ci-dessous).

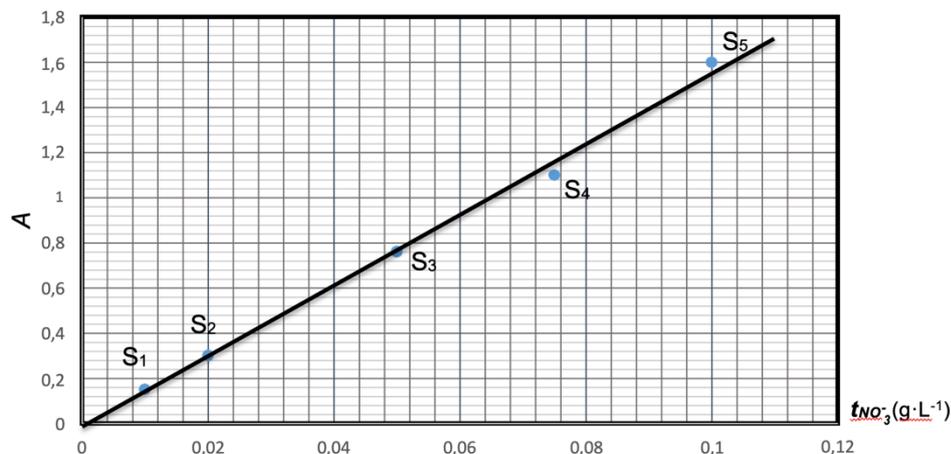


Figure 1. Courbe d'étalonnage des ions nitrate, NO_3^-

ÉTAPE 2 : mesure sur l'échantillon à analyser

On prélève un volume $V = 250$ mL de l'eau étudiée que l'on fait réagir avec un excès d'acide 2,4-phénoldisulfonique. On mesure ensuite l'absorbance de cette solution avec les mêmes réglages que ceux utilisés à l'ÉTAPE 1. L'absorbance mesurée est : $A = 0,48$.

Le spectrophotomètre utilisé lors de ce dosage peut fonctionner avec des radiations monochromatiques de longueurs d'onde : 440 nm, 510 nm, 580 nm, 640 nm

1. Indiquer la longueur d'onde la plus adaptée pour réaliser ce dosage. Justifier.
2. Quelle autre étape préliminaire doit-on effectuer avant d'utiliser un spectrophotomètre ? Donner son nom. Expliquer le protocole à suivre. Quel en est l'intérêt pour la validité du Tp ?
3. Donner le protocole à suivre, pour préparer 25 mL de la solution fille S_2 de concentration en masse de nitrate 0,02 g/L à partir de la solution mère de concentration en masse 0,1 g/L ?
Soyez précis dans le matériel utilisé.
On justifiera les volumes des différentes verreries utilisées.
4. Utiliser la **figure 1** pour déterminer la concentration en masse en ions nitrate t_1 de l'eau analysée.
5. On désigne par $u(t_1)$ l'incertitude-type sur la valeur de t_1 . Pour cette détermination, on estime que l'incertitude-type relative $\frac{u(t_1)}{t_1}$ est de l'ordre de 15 %.

Écrire, en conservant un seul chiffre significatif pour l'incertitude-type, le résultat de la mesure de la concentration en ions nitrate t_1 .

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

Une autre méthode de dosage consiste à faire un dosage en retour :

- Les ions nitrate, NO_3^- en milieu acide, réagissent avec une quantité connue d'ions Fe^{2+} . Cette quantité notée $n(Fe^{2+})_{Totale}$ est largement suffisante pour consommer tous les ions nitrate : c'est l'étape 1.
- On titre ensuite les ions Fe^{2+} en excès (qui n'ont pas réagi précédemment) à l'aide d'un dosage par titrage conductimétrique : c'est l'étape 2.

Données

- Masses molaires :
- $M(NO_3^-) = 62,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(Fe^{2+}) = 55,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(Cr_2O_7^{2-}) = 216 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Conductivités ioniques molaires:

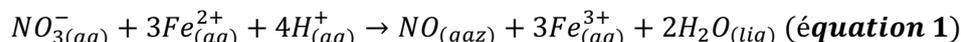
Ion	$K_{(aq)}^+$	$Cr_2O_7^{2-}(aq)$	$Fe_{(aq)}^{2+}$	$Fe_{(aq)}^{3+}$
$\lambda \text{ mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$	7,35	6,1	10,8	20,4

- Protocole du titrage :

ÉTAPE 1 : on prélève un volume $V = 250,0 \pm 0,2 \text{ mL}$ de l'eau étudiée dans la **partie A**.

On fait réagir ce volume avec une solution acidifiée contenant $n(Fe^{2+})_{Totale} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ d'ions Fe^{2+} .

L'équation de la réaction est la suivante :

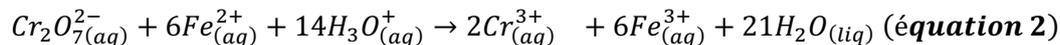


On note $n(Fe^{2+})_{excès}$ la quantité de matière en ions Fe^{2+} encore présente à l'état final de la réaction d'**équation 1**.

ÉTAPE 2 : la quantité de matière $n(Fe^{2+})_{excès}$ est déterminée à l'aide d'un titrage par les ions dichromate $Cr_2O_7^{2-}$ d'une solution aqueuse de dichromate de potassium ($2K_{(aq)}^+, Cr_2O_7^{2-}(aq)$) pour laquelle la concentration a pour valeur

$$[Cr_2O_7^{2-}] = C = 5,0 \times 10^{-2} \pm 0,2 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

L'équation de la réaction support de ce titrage s'écrit :



La courbe du titrage obtenue est présentée dans la **figure 2** page suivante

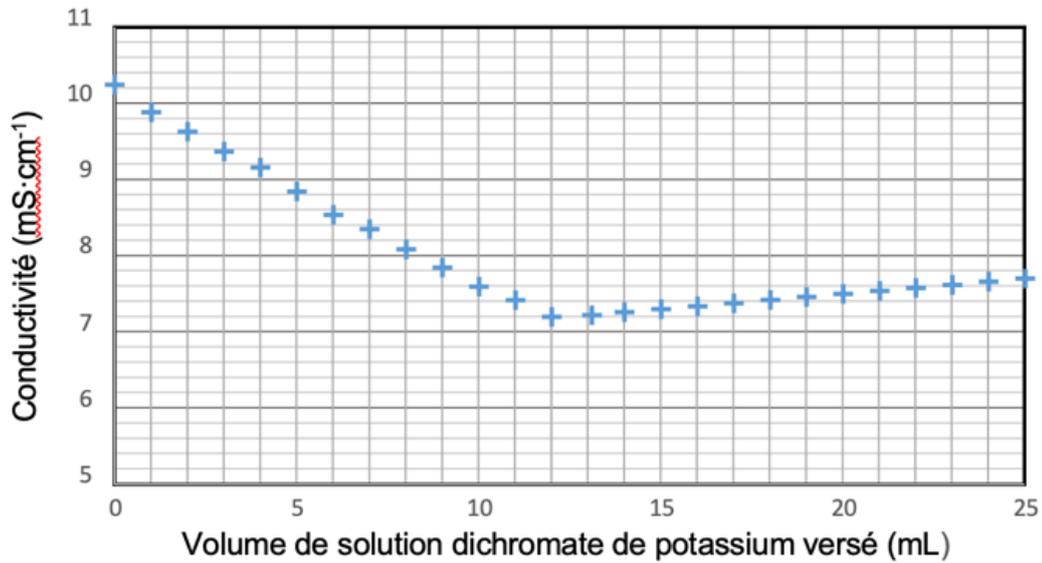


Figure 2. Courbe de titrage conductimétrique de l'eau analysé

6. Écrire les demi-équations électroniques mises en jeu lors de l'étape 1 permettant de retrouver l'équation 1 de la réaction d'oxydo-réduction.
Faire apparaître les couples oxydant/réducteur mis en jeu
Indiquer laquelle est l'oxydation ? la réduction ?
7. Identifier le réactif titré et le réactif titrant lors du titrage de l'ÉTAPE 2.
8. Rappeler les critères que doivent remplir une réaction chimique pour être exploitée en tant que réaction de titrage.
9. Définir l'équivalence du titrage. Comment le trouve-t-on sur la courbe de la figure 2 ?
10. Justifier à l'aide des données de l'exercice, l'évolution de la conductivité avant l'équivalence .
11. À partir de l'exploitation de la **figure 2**, montrer que la quantité de matière des ions Fe^{2+} qui ont été versés en excès $n(Fe^{2+})_{excès}$ vaut environ 3,6 mmol.
12. La quantité d'ions nitrate recherchée $n(NO_3^-)$ peut être calculée à partir de la quantité d'ions Fe^{2+} initialement introduite lors de l'ÉTAPE 1, $n(Fe^{2+})_{totale}$, et à partir de la quantité d'ions Fe^{2+} titrée lors du titrage $n(Fe^{2+})_{excès}$ en utilisant la relation suivante :

$$n(NO_3^-) = \frac{1}{3} [n(Fe^{2+})_{totale} - n(Fe^{2+})_{excès}]$$

Justifier cette relation.

On la considère comme juste pour la suite de l'exercice.

13. A l'aide de la formule donnée ci-dessus, calculer la quantité d'ion nitrate $n(NO_3^-)$ présente dans l'échantillon d'eau.

En déduire que la concentration en masse en ion nitrate t_2 vaut environ 33 mg·L⁻¹.

14. L'incertitude-type $u(t_2)$ sur la valeur de la concentration t_2 de nitrates déterminée avec le titrage est donnée par la relation :

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

avec :

- $u(V_E) = 0,5$ mL, incertitude-type sur la valeur du volume V_E de solution titrante versée à l'équivalence.
- $u(V)$, incertitude-type sur la valeur du volume de solution titrée V .
- $u(C)$, incertitude-type sur la valeur de la concentration en quantité de matière $[Cr_2O_7^{2-}] = C$ en ions dichromate $Cr_2O_7^{2-}$.

Calculer l'incertitude-type $u(t_2)$ de la teneur en ions nitrate puis donner un encadrement de la concentration en masse t_2 obtenue avec cette méthode de titrage.

15. Conclure sur la potabilité de l'eau prélevée au regard des résultats obtenus par les deux méthodes de dosage étudiées.

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

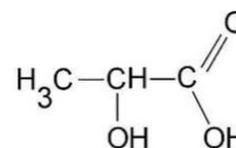
On prépare un biberon par dissolution de lait en poudre dans de l'eau.

Un lait présente une légère acidité qui peut se développer assez vite selon les conditions de conservation. En effet, le lactose présent dans le lait se transforme progressivement en acide lactique.

On vérifie l'état de conservation d'un lait en mesurant son acidité exprimée en degré Dornic (°D). Un degré Dornic, noté 1°D, correspond à 0,10 g d'acide lactique par litre de lait.

Données

- Formule de l'acide lactique :
- Masse molaire de l'acide lactique : $M = 90,0$ g·mol⁻¹
- pK_a (acide lactique/ion lactate) = 3,9
- Couples acide/base de l'eau : $H_3O^+(aq)/H_2O(l)$ $H_2O(l)/HO^-(aq)$
- Rappel : $pK_a = -\log K_a$
- Numéro atomique : Hydrogène (Z =1) ; Carbone (Z=6) ; Oxygène (Z=8).
- Couples Acide/Base AH/A⁻ H_2O/HO^- H_3O^+/H_2O



C1. Le couple acide lactique / ion lactate

16. De quel type de représentation a-t-on utilisé pour représenter l'acide lactique ?
17. Recopier la formule donnée de l'acide lactique, entourer le(s) groupe(s) caractéristique(s). Indiquer leur(s) nom(s) et la (les) famille(s) associée(s).
18. Justifier que le nom de l'acide lactique dans la nomenclature officielle est acide 2-hydroxypropanoïque.
19. Représenter le schéma de Lewis de l'ion lactate, base conjuguée de l'acide lactique.
20. Pour la suite, on note AH l'acide lactique et A⁻ sa base conjuguée.

Établir l'équation de la réaction chimique associée à la constante d'équilibre K_A du couple AH/A⁻.

21. Définir la notion d'espèce chimique acide et d'espèce chimique base.
22. Exprimer la constante d'acidité K_A du couple AH/A^- en fonction des concentrations $[AH]_f$, $[A^-]_f$, $[H_3O^+]_f$ et c° avec $c^\circ = 1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, concentration standard.
23. La mesure au laboratoire du pH du lait contenu dans le biberon indique un $\text{pH} = 6,2$.
En déduire que la concentration en ion lactate $[A^-]$ dans le lait du biberon est environ 200 fois supérieure à celle en acide lactique $[AH]$.
24. Ce résultat est-il en accord avec le diagramme de prédominance du couple AH/A^- ?
Il est attendu en plus d'une justification à votre réponse, la construction de ce diagramme de prédominance.

C2. Dosage de l'acide lactique

Afin de déterminer la concentration en acide lactique dans le lait, on met en œuvre le protocole suivant :

- Verser dans un erlenmeyer $V_L = 40,0 \text{ mL}$ de lait.
- Ajouter $V_{eau} = 150 \text{ mL}$ d'eau distillée.
- Ajouter quelques gouttes d'indicateur coloré (qui permettront de repérer l'équivalence).
- Placer l'erlenmeyer sous une burette remplie de solution d'hydroxyde de sodium (Na^+ , HO^-) de concentration $c_B = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et agiter.
- Verser jusqu'au changement de couleur et noter le volume de soude versé V_{BE} .

Pour un même échantillon de lait, on recommence la manipulation plusieurs fois. Les valeurs de V_{BE} ainsi obtenues sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

V_{BE} (mL)	12,3	12,2	12,4	12,0	12,1	12,2
---------------	------	------	------	------	------	------

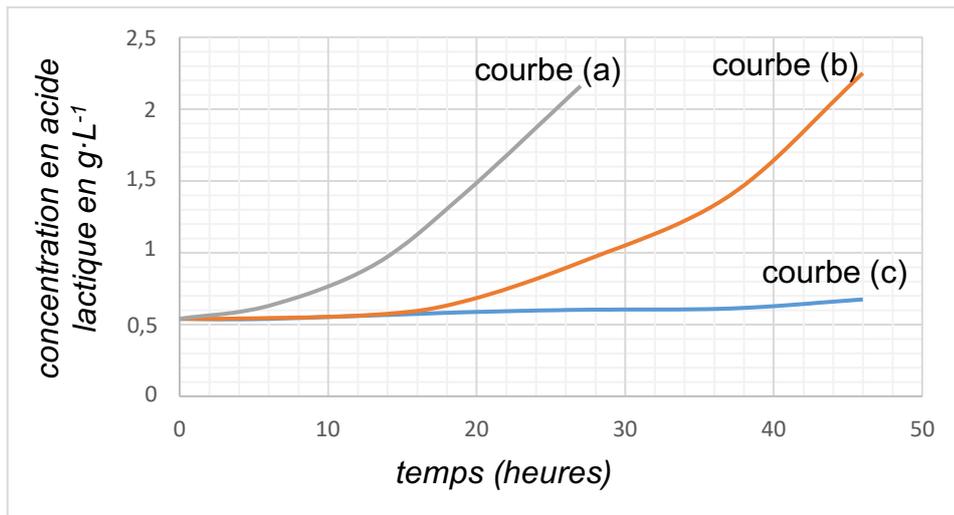
La valeur moyenne de ces valeurs est $\overline{V_E} = 12,2 \text{ mL}$

25. Écrire la réaction support du dosage.
26. Déterminer la concentration en masse d'acide lactique dans le lait de biberon.
27. La dispersion des mesures de V_{BE} peut s'expliquer par des imprécisions sur les valeurs de certains paramètres.
Parmi les deux paramètres suivants, volume de lait, V_L , et volume d'eau distillée, V_{eau} , indiquer lequel a une incidence sur la valeur de V_{BE} .

C3. Suivi temporel de la concentration en acide lactique dans plusieurs échantillons

28. Des tests ont été effectués sur trois échantillons provenant du lait d'un biberon classique préparé par dissolution de lait en poudre dans de l'eau. Ces échantillons ont ensuite été stockés pendant plusieurs jours aux températures suivantes :
- a. Échantillon 1 : 5°C . b. Échantillon 2 : 20°C . c. Échantillon 3 : 30°C .

Un suivi par titrage a permis de déterminer la concentration en masse d'acide lactique dans chaque échantillon en fonction du temps. Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous (**figure 3**). Chaque courbe correspond à l'un des échantillons étudiés.



Un lait est considéré comme frais, selon les normes en vigueur, si son acidité est inférieure à 18°D.

À l'aide du graphe de la **figure 3**, déterminer au bout de combien de temps les échantillons 2 et 3 ne sont plus considérés comme étant des laits frais.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée

EXERCICE B. PARTIE PHYSIQUE (10 points)

COMPRENDRE LES NUAGES

Mots-clés : 2nde loi de Newton, satellites, ondes, niveau d'intensité sonore.

La physique des nuages est l'étude des processus de formation et d'évolution des nuages et des précipitations qui les accompagnent. Les nuages sont formés de microscopiques gouttelettes. La formation et la stabilité d'un nuage dépendent notamment des mouvements verticaux de l'air dans celui-ci.

Dans une première partie, on étudie l'un des phénomènes permettant au nuage de ne pas tomber. Dans la deuxième et la troisième partie, on s'intéresse à un satellite permettant d'étudier les nuages. Dans la quatrième partie, on interroge le bien-fondé d'une expérience visant à influencer sur la météo.

A. Nuage et précipitations

Pourquoi les nuages ne tombent-ils pas ?

Les nuages sont constitués de gouttelettes d'eau de très petit diamètre (de 10 à 100 μm) qui demeurent en suspension dans l'air.

Pour répondre à l'éternelle question « pourquoi les nuages ne tombent-ils pas ? », il faut en premier lieu savoir que la formation des nuages implique le plus souvent des mouvements ascendants d'air, c'est-à-dire des mouvements de l'air vers le haut. En raison de leur faible masse, les gouttelettes entrant dans la constitution du nuage n'ont pas besoin de forces de grande intensité pour être maintenues en équilibre ou être entraînées dans un mouvement ascendant. [...]

Finalement, l'état d'équilibre ou de mouvement vertical (ascendance ou chute, sous forme de pluie éventuellement) se ramène à l'étude du bilan entre deux forces colinéaires opposées : le poids de la gouttelette et la résultante verticale des forces d'agitation de l'air.

D'après *Météorologie, 100 expériences pour comprendre la météo* de Y. Corboz.

Pour mieux comprendre ce qui permet au nuage de rester en suspension, on s'intéresse à une gouttelette d'eau présente dans ce nuage. On modélise la situation de la gouttelette de la façon suivante :

- la gouttelette est supposée sphérique de rayon $r = 10 \mu\text{m}$;
- volume d'une sphère : $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$
- la gouttelette n'est soumise qu'à son poids \vec{P} et à une force verticale \vec{F} exercée par l'air, dirigée vers le haut ;
- la gouttelette est supposée initialement immobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen ;
- la valeur de la force exercée par l'air sur la gouttelette s'exprime de la façon suivante :

$$F = k \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

k : coefficient sans unité ; $k = 18,8$

η : viscosité de l'air ; $\eta = 15 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

r : rayon de la goutte (en m)

v : vitesse de l'air dans un référentiel lié à la gouttelette (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Données :

- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- masse volumique de l'eau à 20 °C : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1. Montrer que la valeur P du poids de la goutte est environ $4,1 \times 10^{-11}$ N.
2. Déterminer la valeur F de la force verticale ascendante exercée par l'air sur la gouttelette pour une vitesse verticale de l'air de $0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
3. En déduire si la goutte monte, tombe ou reste immobile. Justifier.
4. Différents phénomènes (notamment des collisions) peuvent amener le rayon des gouttelettes à augmenter, provoquant leur chute, sous forme de pluie.

On suppose que la vitesse verticale ascendante de l'air reste inchangée.

En exploitant les réponses aux questions précédentes, déterminer le rayon minimum qu'il doit posséder une gouttelette pour tomber.

Toute démarche cohérente, même incomplète, sera valorisée.

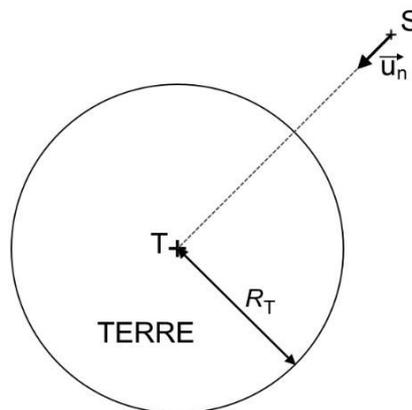
B. Earthcare. un satellite pour étudier les nuages.

EarthCARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer) est un satellite d'observation de l'atmosphère terrestre faisant partie du programme Living Planet de l'ESA (European Space Agency). L'un des objectifs de cette mission est d'améliorer notre compréhension du bilan radiatif de la Terre et de ses effets sur le climat. Son lancement est prévu pour 2023. Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour.

D'après Wikipédia.

Données :

- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- rayon de la Terre : $R_T = 6,37 \times 10^3 \text{ km}$;
- on considère que le satellite EarthCARE (noté S, de masse M_S) supposé ponctuel est en mouvement circulaire autour de la Terre à une altitude $h = 390 \text{ km}$.



5. Exprimer la force d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_{T/S}$ que la Terre exerce sur le satellite, en fonction notamment du vecteur unitaire \vec{u}_n , de la masse de la Terre M_T , de la masse du satellite M_S , du rayon de la Terre R_T et de l'altitude h .
6. En appliquant la seconde loi de Newton et en utilisant le repère de Frenet, montrer que le mouvement du satellite est uniforme.

7. Montrer que la valeur de la vitesse v du satellite est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_T}{R_T + h}}$$

8. Dédurre des questions précédentes que la période de révolution du satellite est donnée par la relation :

$$T = 2. \pi \sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G \times M_T}}$$

9. Calculer la valeur de la période de révolution T et déterminer si cette valeur est en accord avec la phrase d'introduction : « Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour. »

C. Radar profileur de nuages

Le satellite Earthcare, en passant au-dessus d'un nuage, pourra faire des analyses de ce nuage grâce à des instruments embarqués. L'un de ces instruments est un radar profileur de nuage, nommé Cloud Profiling Radar (CPR) dont le rôle est notamment d'étudier les mouvements verticaux des gouttelettes dans le nuage.

Le radar CPR envoie vers le nuage des ondes électromagnétiques. Les gouttelettes (dont le diamètre est de l'ordre de 10 à 100 μm) présentes dans le nuage renvoient une partie de ces ondes vers le satellite. Le signal reçu par le satellite est analysé.

Pour obtenir un signal exploitable, la longueur d'onde des ondes électromagnétiques émises par le CPR doit être supérieure à dix fois celle du diamètre des gouttelettes.

Données :

- la longueur d'onde λ (en m), la fréquence f (en Hz) et la célérité d'une onde c (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) sont liées par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

- Le CPR utilise des ondes électromagnétiques de fréquence $f_e = 94,05 \times 10^9$ Hz.

10. Donner la définition d'une onde.
11. Définir les termes d'onde mécanique puis d'ondes non mécaniques.

Indiquer à quelle catégorie d'onde (mécanique ou non mécanique) appartiennent les ondes sonores.

12. Une onde dite périodique, présente deux types de périodicité.

Pour chaque périodicité donner la définition. Vous préciserez dans la définition, son nom, son symbole et son unité.

13. Donner la définition et l'unité de la notion de fréquence d'une onde.
14. Déterminer si les ondes électromagnétiques utilisées par le CPR permettent d'obtenir un signal exploitable. Justifier la réponse.
15. Le satellite EarthCARE est situé à 390 km d'altitude à la verticale d'un nuage. Il se déplace à la vitesse $v = 7,5 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ par rapport au sol. Le nuage de dimension horizontale d'environ 1 km est immobile par rapport au sol et situé à une altitude moyenne de 2 km.

Vérifier que la distance parcourue par le satellite durant le temps d'un aller-retour des ondes électromagnétiques entre le satellite et le nuage est très inférieure à la longueur du nuage. On négligera l'épaisseur du nuage.

D. Une expérience contestée.

En février 2021, divers journaux ont rapporté une expérience scientifique étonnante. Une équipe de l'université chinoise de Qinghai vient de tester l'effet d'un son très puissant : sous l'influence des ondes acoustiques émises à 160 dB, les précipitations auraient augmenté.

La mesure du niveau sonore de 160 dB a été réalisée à 1,0 m du haut-parleur.

Dans un article en ligne du journal anglais *Dailymail* du 5 février 2021, un journaliste relate avec enthousiasme cette expérience et affirme que les ondes sonores utilisées sont à peine audibles.

Données :

- le niveau d'intensité sonore L (en dB) est défini par : $L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

I et I_0 sont exprimés en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$;

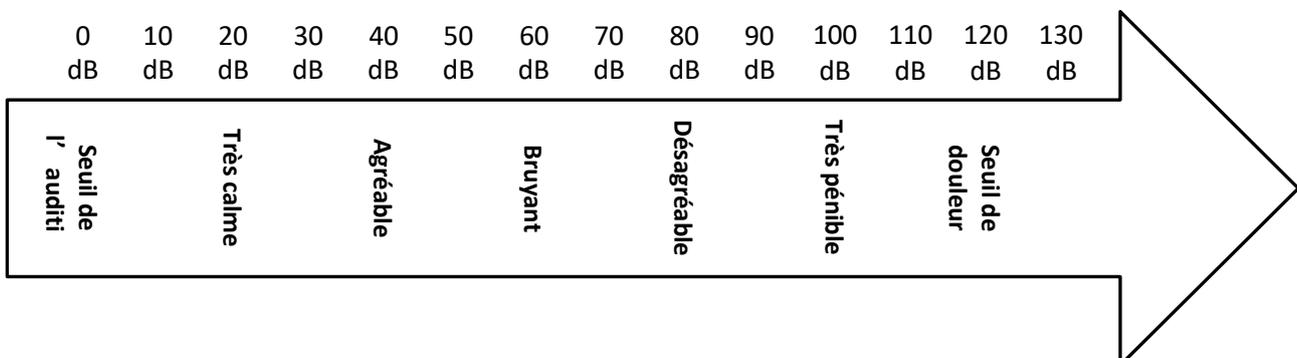
$I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;

- l'intensité sonore I (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) est liée à la puissance sonore P (en W) rayonnée par la source, qui se répartit au cours de la propagation sur une surface d'aire S (en m^2) :

$$I = \frac{P}{S}$$

avec $S = 4 \pi \cdot d^2$ où d (en m) est la distance qui sépare le récepteur de la source ;

- échelle de niveau d'intensité sonore (en dB) :



16. Pendant l'expérience réalisée par l'université chinoise de Qinghai, une personne se place à une distance d du haut-parleur.

Estimer la distance d minimale pour qu'une personne ne subisse pas de gêne liée au bruit du haut-parleur. Commenter le point de vue du journaliste.

Les hypothèses formulées par le candidat pour modéliser la situation devront être explicitées. La démarche suivie devra être clairement exposée et les calculs devront être détaillés.

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.

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

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

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

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

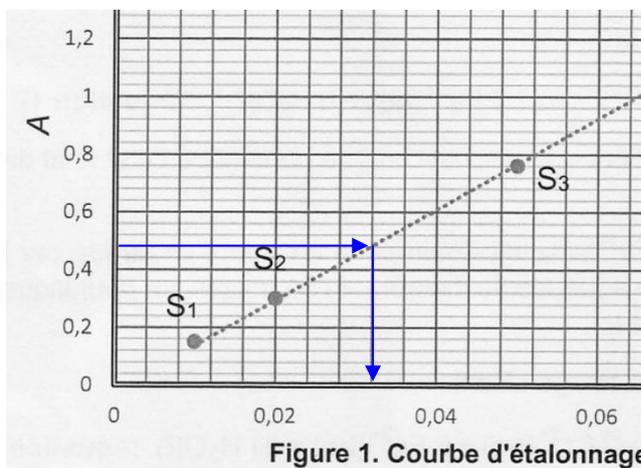
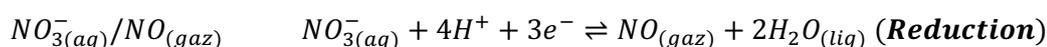


Figure 1. Courbe d'étalonnage

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

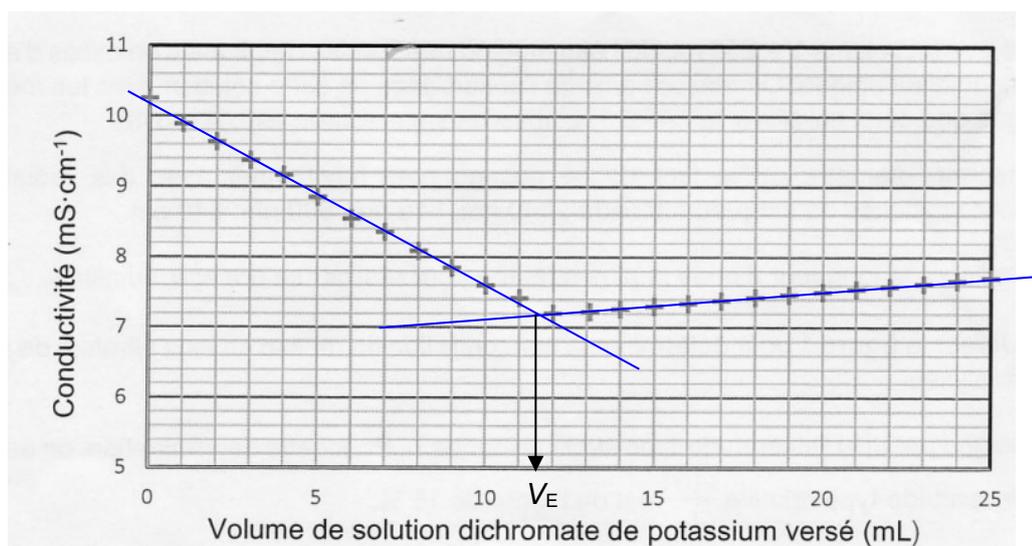
Très peu d'élèves ont su m'expliquer correctement les changements de pente. Et surtout vous n'avez pas compris que le principal responsable du caractère décroissant de la droite avant l'équivalence, c'est l'ion spectateur K^+ de la solution titrante.

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

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

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

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

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

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

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 $Cr_2O_7^{2-}$.

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

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

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

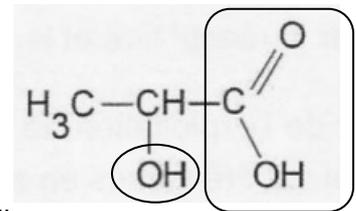
Ces deux concentrations en masse sont inférieures à 50 mg.L^{-1} , l'eau prélevée est potable.

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 :

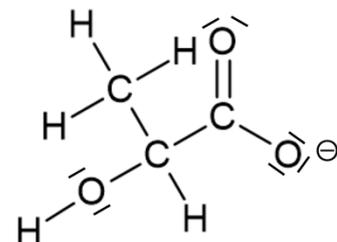
- Le groupe OH hydroxyle de la famille des alcools ;
- Le groupe COOH carboxyle de la famille des acides carboxyliques



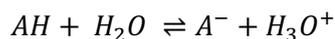
18. On parle de l'**acide 2-hydroxypropanoïque** car :

- **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^+ : $AH \rightleftharpoons A^- + H^+$

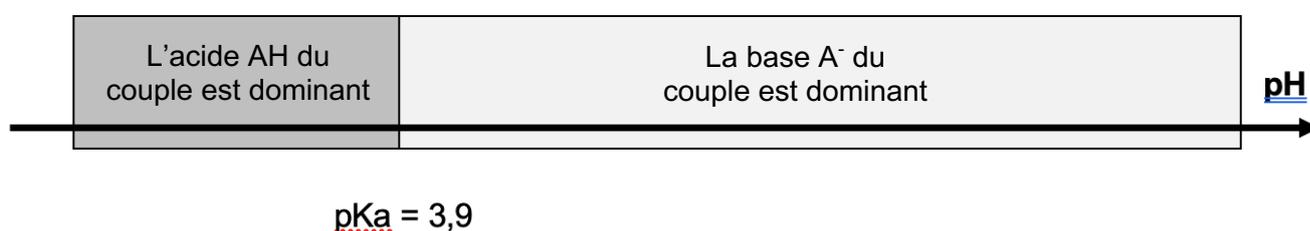
A l'inverse une base A^- est capable de gagner un proton H^+ .

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

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

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

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

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.

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

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

B. Earthcare, un satellite pour étudier les nuages

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

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 : $\vec{F}_{T/S} = M_S \cdot \vec{a}$

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

- Dans le repère de Frenet, $\vec{a} = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{u}_\tau + \frac{v^2}{R_T + h} \cdot \vec{u}_n$
- 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.