

## Devoir de Sciences Physiques n°6 pour le 27-01-2025

### Problème n° 1 – CO<sub>2</sub> et réchauffement climatique

X MPI 2023

Le but de ce problème est d'étudier quelques aspects physiques du réchauffement climatique qu'entraîne l'augmentation rapide, constatée au cours des dernières décennies, de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre. La première partie étudie les vibrations de la molécule de CO<sub>2</sub>. La deuxième se consacre à la modélisation de l'interaction du CO<sub>2</sub> avec une onde électromagnétique. La troisième partie discute l'impact de la présence de CO<sub>2</sub> sur la température de la Terre. Les trois parties peuvent en grande partie être traitées indépendamment.

*On se contentera de réponses courtes, sauf lorsque l'énoncé demande de justifier un résultat.*

#### A. Vibrations de la molécule de dioxyde de carbone

Une molécule est animée de mouvements de vibration, caractérisés par des oscillations des centres de masse des atomes autour de leur position d'équilibre. Nous étudions d'abord les vibrations longitudinales de la molécule de CO<sub>2</sub>, dans lesquelles les centres de masse des trois atomes restent alignés à tout instant. On note  $m_O$  la masse de l'atome d'oxygène,  $m_C$  celle de l'atome de carbone, et  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$  et  $x_3(t)$  les déplacements des centres de masse des atomes par rapport à leurs positions d'équilibre respectives le long de l'axe de la molécule à l'instant  $t$ , voir la figure 1.

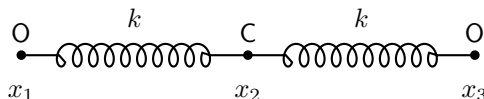


FIGURE 1 – Molécule de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>

1. Nous modélisons les oscillations en traitant chacun des atomes comme une masse ponctuelle, en décrivant la liaison entre un atome de carbone et un atome d'oxygène par un ressort de raideur  $k$ . Écrire les équations du mouvement.

2. Que peut-on dire du mouvement du centre de masse des trois atomes ?

3. Montrer qu'il existe une solution telle que  $x_2(t) = 0$ ,  $x_1(t)$  et  $x_3(t)$  oscillant à la même pulsation. Déterminer cette pulsation, qu'on notera  $\omega_s$ .

4. Montrer qu'il existe une solution telle que  $x_1(t) = x_3(t)$ , les trois masses oscillant à la même pulsation. Déterminer sa pulsation, qu'on notera  $\omega_a$ .

5. Rappeler l'expression de la longueur d'onde  $\lambda$  d'une onde électromagnétique monochromatique plane de pulsation  $\omega$  se propageant dans le vide à la vitesse  $c$ .

6. On ne mesure pas directement les pulsations  $\omega_s$  et  $\omega_a$ , mais les longueurs d'onde associées définies dans la question précédente. On les caractérise en général par le nombre d'onde spectroscopique, noté  $n$ , qui est l'inverse de la longueur d'onde  $n = 1/\lambda$ , exprimé en  $\text{cm}^{-1}$ . Les valeurs associées à  $\omega_s$  et  $\omega_a$  sont  $n_s = 1388 \text{ cm}^{-1}$  et  $n_a = 2349 \text{ cm}^{-1}$ . Si vous disposiez d'une calculatrice pour cette épreuve, quelle vérification numérique effectueriez-vous pour tester la validité de la modélisation faite ci-dessus ?

7. On suppose qu'il existe un troisième ressort de raideur  $k'$  reliant directement les deux atomes d'oxygène. Écrire l'expression de l'énergie mécanique du système.

8. Justifier que cette modélisation est la plus générale pour décrire les oscillations longitudinales de faible amplitude de la molécule de CO<sub>2</sub>.

9. Déterminer les expressions de  $\omega_s$  et  $\omega_a$ , définies comme dans les questions 3. et 4., pour ce nouveau système. Quel est qualitativement l'effet du terme supplémentaire ?

Il existe, enfin, un troisième mode de vibration dans lequel l'atome de carbone se déplace perpendiculairement à la ligne formée par les deux atomes d'oxygène. La valeur de  $n$  correspondant est  $n_f = 667 \text{ cm}^{-1}$ . Ce mode joue un rôle crucial dans l'effet de serre, comme on le verra plus bas dans la troisième partie du problème.

## B. Interaction avec une onde électromagnétique

Dans cette partie, nous étudions l'absorption du rayonnement électromagnétique par les molécules, qui est le principal mécanisme microscopique à l'origine du réchauffement climatique.

### Approximation dipolaire

**10.** Une molécule est placée dans le champ électromagnétique d'une onde plane progressive monochromatique. Si sa longueur d'onde est beaucoup plus grande que la molécule, montrer que la résultante de la force exercée par le champ électrique sur l'ensemble de la molécule (électrons et noyaux) est, à tout instant, proportionnelle à la projection de son moment dipolaire sur le vecteur d'onde. On pourra prendre l'exemple d'une onde plane polarisée linéairement, développer la variation spatiale du champ électrique au premier ordre au voisinage d'un point quelconque de la molécule, choisi pour origine du système de coordonnées, et justifier ce développement.

**11.** Cette approximation est-elle vérifiée si la longueur d'onde appartient au spectre de la lumière visible ? Si elle appartient au domaine infrarouge ?

**12.** Que peut-on dire du moment dipolaire électrique de la molécule de  $\text{CO}_2$  en l'absence de vibration ?

**13.** Parmi les trois modes de vibration définis dans la première partie, lesquels entraînent une variation du moment dipolaire de la molécule de  $\text{CO}_2$  ? Qu'en est-il pour les vibrations des molécules  $\text{N}_2$  et  $\text{O}_2$ , qui composent l'essentiel de l'atmosphère ?

### Oscillations forcées et absorption du rayonnement

Pour comprendre les oscillations d'une molécule placée dans le champ d'une onde électromagnétique, nous étudions le cas plus simple de l'oscillation d'un de ses composants, particule ponctuelle de charge électrique  $q$  en mouvement sur un axe  $x$ , soumise à un champ électrique  $E \cos \omega t$ , également dirigé suivant l'axe  $x$ .

**14.** Supposons que la particule effectue des oscillations forcées sous l'effet du champ. Le déplacement par rapport à sa position d'équilibre s'écrit alors  $\underline{x}(t) = \underline{C} \exp i\omega t$ , où nous introduisons la représentation complexe  $x(t) = \Re(\underline{x}(t))$ , et où  $\underline{C}$  désigne l'amplitude complexe du mouvement. Montrer que la puissance exercée par la force électrique sur la particule, moyennée sur une période, est proportionnelle à la partie imaginaire de  $\underline{C}$ , avec une constante de proportionnalité qu'on déterminera.

**15.** On note  $m$  la masse de la particule. On modélise sa dynamique par l'équation du mouvement :

$$m(\ddot{x} + \alpha \dot{x} + \omega^2 x) = F_e(t) \quad (1)$$

où  $F_e(t)$  représente la force exercée par le champ électrique, dont on précisera l'expression. Commenter la signification physique de chacun de ses termes. Quel est le signe de  $\alpha$  ?

**16.** Déterminer l'amplitude complexe  $\underline{C}$  du mouvement forcé. On écrira le champ électrique en représentation complexe sous la forme  $E \cos \omega t = E \Re(\exp i\omega t)$ .

**17.** En utilisant le résultat de la question **14.**, déterminer l'expression de la puissance moyenne exercée par le champ sur la particule.

**18.** Comment peut-on déduire de ce résultat que l'onde électromagnétique perd de l'énergie en interagissant avec la particule, autrement dit, qu'elle est partiellement absorbée ?

**19.** À quelle condition sur le coefficient de frottement  $\alpha$  peut-on dire que l'amortissement est faible ? Dans cette limite d'un amortissement faible, tracer le spectre d'absorption, c'est-à-dire la variation de la puissance moyenne absorbée avec la pulsation  $\omega$ .

### Effet des collisions entre molécules

Nous allons maintenant modéliser l'effet des collisions entre molécules, qui est crucial pour décrire l'absorption du rayonnement par l'atmosphère. Le physicien néerlandais HENDRIK LORENTZ (1853–1928) a été le premier à étudier ce phénomène dans son ouvrage intitulé *The theory of electrons*, paru en 1915, et nous retraçons son raisonnement.

**20.** On reprend le modèle dynamique défini par l'équation (1), dans laquelle on pose  $\alpha = 0$ . Chercher une solution  $x(t) = \Re(\underline{x}(t))$ , avec  $\underline{x}(t)$  fonction complexe de la forme :

$$\underline{x}(t) = \underline{A} \exp i\omega t + \underline{B} \exp i\omega_0 t \quad (2)$$

où  $\underline{A}$  et  $\underline{B}$  sont des coefficients complexes, et déterminer la valeur de  $A$ .

**21.** LORENTZ suppose que lors d'une collision, le déplacement par rapport à l'équilibre est en moyenne remis à zéro. Déterminer les coefficients  $\underline{A}$  et  $\underline{B}$  tels que  $\underline{x}(t - \theta) = 0$ , où  $\theta > 0$  représente le temps écoulé entre la dernière collision et l'instant  $t$ . Mettre la solution sous la forme  $\underline{x}(t) = \underline{C} \exp i\omega t$  et donner l'expression de  $\underline{C}$ .

**22.** Sous des conditions de température et de pression données, la probabilité pour qu'une molécule donnée entre en collision avec une autre molécule de l'atmosphère pendant un temps infinitésimal  $dt$  vaut  $dt/\tau$ , où  $\tau$  est

un temps caractéristique de collision. On note  $P(\theta)d\theta$  la probabilité d'avoir une valeur de  $\theta$  à  $d\theta$  près. Justifier que  $P(\theta) = \frac{1}{\tau} \exp -\frac{\theta}{\tau}$ , avec  $\theta \geq 0$ .

**23.** Moyenner le résultat de la question **21.** sur  $\theta$  avec cette loi de probabilité.

**24.** En utilisant le résultat de la question **14.**, calculer la puissance moyenne exercée par le champ sur la particule. Quel est son signe ?

**25.** Montrer que si  $\tau$  est suffisamment grand et si  $\omega$  est proche de  $\omega_0$  en valeur relative, alors l'expression de la puissance moyenne coïncide avec celle obtenue à la question **17.**, dans laquelle on remplace  $\alpha$  par une fonction de  $\tau$  qu'on précisera.

**26.** Quel terme manque-t-il, dans l'équation (2), pour obtenir une solution générale de la représentation complexe de l'équation (1) avec  $\alpha = 0$  ?

**27.** LORENTZ, dans son étude, résout cette équation en représentation complexe avec les conditions  $\underline{x}(t-\theta) = 0$  et  $\underline{\dot{x}}(t-\theta) = 0$ . Effectuer cette résolution, et justifier que l'équation (2) représente une bonne approximation de la solution si  $\omega$  est proche de  $\omega_0$ .

**28.** On admet que le raisonnement ci-dessus, fait pour une particule chargée ponctuelle, s'applique aussi à la molécule entière, où  $\omega_0$  est la pulsation d'un de ses modes de vibration. Expliquer qualitativement l'effet des collisions sur le spectre d'absorption de la molécule.

### C. Effet de serre

**29.** La modélisation de l'effet de serre passe par celle de l'atmosphère terrestre. Nous traitons celle-ci, de manière simplifiée, comme un gaz parfait de masse molaire  $M = 30 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , dont la pression  $P$  et la température  $T$  ne dépendent que de l'altitude  $z$ . Nous faisons en outre l'approximation que le gradient de température vertical est constant,  $dT/dz = -\Gamma$ , avec  $\Gamma = 6 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$ . Le poids de l'atmosphère fait augmenter sa pression lorsque l'altitude diminue et nous admettons que le gradient de pression, qui s'obtient en effectuant un bilan de forces, est donné par  $dP(z)/dz = -MgN(z)$ , où  $N(z)$  est la concentration molaire à l'altitude  $z$ , et  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  est l'accélération de la pesanteur. En éliminant  $z$  entre ces deux équations, montrer que la température est une fonction de la pression de la forme  $T(z)/T(0) = (P(z)/P(0))^\beta$ , où  $\beta$  est une constante dont on déterminera l'expression en fonction de  $\Gamma$ ,  $M$ ,  $g$  et de la constante des gaz parfaits  $R = 8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**30.** Calculer la valeur numérique de  $\beta$  et représenter la variation de la température en fonction de la pression.

**31.** On note  $\phi$  la puissance surfacique moyenne reçue du Soleil par la Terre, dont une fraction  $\alpha$  est réfléchiée vers l'espace. Quelle est la température  $T_E$  d'un corps noir qui rayonne une puissance surfacique identique à celle absorbée par la Terre ?

On note  $x$  la fraction molaire de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère, supposée uniforme et très faible, et  $\mu(z)$  le nombre de moles de  $\text{CO}_2$  par unité de surface horizontale au-delà de l'altitude  $z$ , obtenu en intégrant la densité volumique. On suppose pour simplifier que l'atmosphère au-delà de l'altitude  $z$  est opaque au rayonnement de corps noir si  $\mu(z) > \mu_c$  et transparente si  $\mu(z) < \mu_c$ , où  $\mu_c$  est un seuil qui ne dépend que des propriétés de la molécule de  $\text{CO}_2$ . L'altitude  $h$  à laquelle le rayonnement de corps noir de température  $T_E$  est émis est alors déterminée par la condition  $\mu(h) = \mu_c$ , et la température  $T_E$  est celle de l'atmosphère à l'altitude  $h$ .

**32.** Exprimer  $\mu(z)$  en fonction de  $P(z)$ ,  $x$ ,  $M$  et  $g$ . En déduire la pression  $P(h)$  à l'altitude  $h$ .

**33.** Déterminer comment varie la température au sol en fonction de la fraction  $x$  de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère.

Dans ce qui précède, nous avons fait l'approximation implicite que le coefficient d'absorption du  $\text{CO}_2$  ne dépend pas de la longueur d'onde. En réalité, comme on l'a vu dans les deux premières parties, cette hypothèse est fautive, ce que l'on constate sur la figure 2, où le  $\text{CO}_2$  a une bande d'absorption centrée sur le mode  $n_f$  mentionné à la fin de la première partie.

**34.** Quelle est la dépendance en température de l'aire sous un spectre de corps noir ?

**35.** Comment varie la position du maximum  $n_{\text{max}}$  du spectre de corps noir en fonction de  $T$  ?

**36.** À partir de la figure 2, estimer numériquement la puissance que la Terre rayonne vers l'espace par unité de surface.

**37.** En préservant l'équilibre avec le flux reçu du Soleil, comment est modifié le spectre émis par la Terre si on augmente la teneur de l'atmosphère en  $\text{CO}_2$  ?

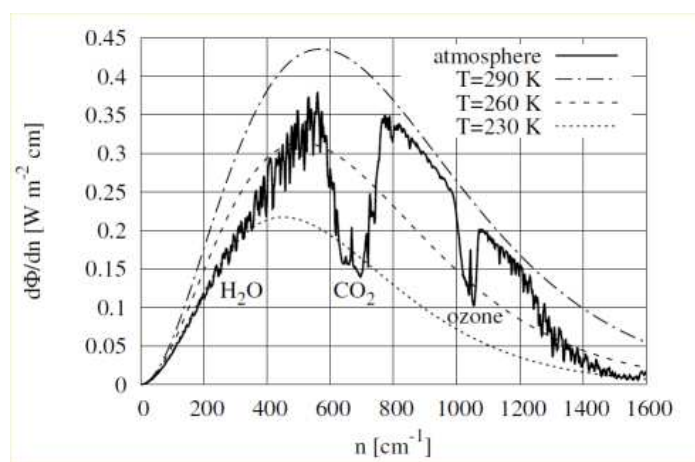


FIGURE 2 – Variation avec le nombre spectroscopique  $n$  de la puissance rayonnée par unité de surface et de  $n$ . Les lignes pointillées sont des spectres de corps noir à différentes températures. La ligne pleine est le spectre calculé du rayonnement émis de la Terre vers l'espace, tel que le flux total équilibre celui reçu du Soleil. Dans ce calcul, la température de la surface de la Terre est 288 K. L'atmosphère est transparente pour des valeurs de  $n$  comprises entre 800 et 1000  $\text{cm}^{-1}$ . En revanche, dans d'autres intervalles de  $n$ , la vapeur d'eau, le  $\text{CO}_2$  ou l'ozone absorbent la lumière émise par la surface. Dans ces intervalles, la lumière émise vers l'espace semble provenir d'une région atmosphérique plus froide, donc de plus haute altitude. [Le calcul a été réalisé au moyen du modèle MODTRAN <http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/>.]

## Problème n° 2 – Chimie et alimentation

Centrale TSI 2020

**Problème à remettre à votre camarade prévu dans DMscope pour une correction croisée, retour de la correction croisée le 31/01 au plus tard.**

### A. Utilisation d'un anti-oxydant

Pour protéger les aliments d'une attaque bactérienne (lutte contre le pourrissement), l'industrie agroalimentaire utilise un conservateur. Pour éviter l'oxydation (changement de couleur des aliments, altération, rancissement), elle emploie un anti-oxydant. Les antioxydants sont des espèces chimiques qui évitent l'oxydation des aliments. Dans la classification agroalimentaire, les antioxydants sont numérotés de E300 à E337.

1. Lorsqu'on laisse une tranche de pomme à l'air libre, au bout de quelques minutes elle brunit. Si préalablement, cette tranche a été arrosée de jus de citron ou d'orange, le brunissement n'a plus lieu. En outre, une tranche d'orange garde sa couleur. Conclure sur la composition des agrumes.

La vitamine C (ou acide ascorbique), qui a pour code E300, est utilisée comme agent antioxydant pour la conservation de certains aliments. Elle est présente dans le jus d'orange. On se propose de titrer la vitamine C de formule brute  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ , notée  $\text{AscH}_2$  dans du jus d'orange à l'aide d'une méthode indirecte par iodométrie.

- Étape 1 — Presser une orange et filtrer le jus. Prélever  $V_0 = 10,0 \text{ mL}$  de ce jus et les introduire dans un erlenmeyer de 100 mL.
- Étape 2 — Verser environ  $V_1 \simeq 10 \text{ mL}$  d'acide phosphorique  $\text{H}_3\text{PO}_4$  à 10% dans l'erlenmeyer.
- Étape 3 — Introduire dans l'erlenmeyer  $V_2 = 20,0 \text{ mL}$  de solution de diiode  $\text{I}_2$  à  $C_{\text{I}_2} = 5,00 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Le diiode est placé en large excès. Agiter. Attendre environ 20 minutes.
- Étape 4 — Titrer la solution avec une solution de thiosulfate de sodium à  $C_s = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Lors de la décoloration de la solution, le volume versé de solution titrante est  $V_e = 12,4 \text{ mL}$ .

### Diagramme $E - pH$ de l'iode et de la vitamine C

Le diagramme  $E - pH$  simplifié de l'élément iode I (trait continu) est donné à la figure 3. Il est tracé pour une concentration atomique en élément iode de  $5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Les espèces à considérer pour l'élément iode sont  $\text{IO}_3^-$ ,  $\text{I}_2$  et  $\text{I}^-$ . Sur la frontière entre deux espèces solubles, on admettra l'égalité des concentrations atomiques de l'élément considéré.

Le diagramme de la vitamine C (trait discontinu) est superposé à celui de l'iode. La vitamine C est un diacide. Les espèces considérées pour ce diagramme sont  $\text{AscH}_2$  ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ),  $\text{AscH}^-$  ( $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6^-$ ),  $\text{Asc}^{2-}$  ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6^{2-}$ ) et l'acide déshydroascorbique de formule brute  $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$ .

La frontière entre le couple  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  figure également (trait pointillé) sur ce même diagramme.

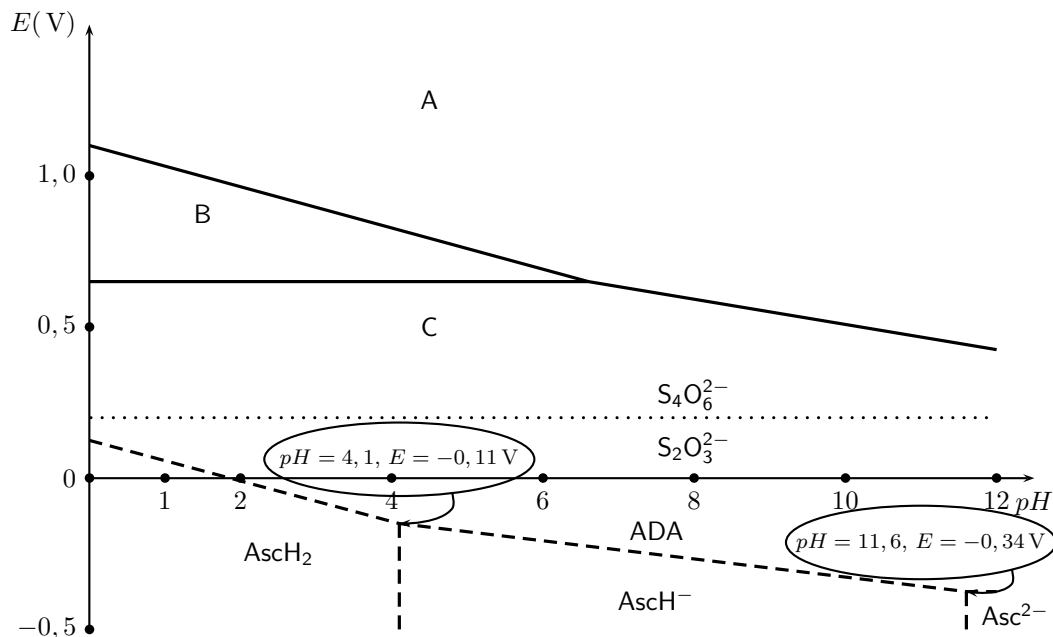


FIGURE 3 – Diagrammes  $E - pH$  simplifiés de l'iode ( $5 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ), de la vitamine C ( $1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) et du couple  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

2. Justifier que le domaine B correspond au diiode  $\text{I}_2$  et identifier les espèces chimiques décrivant les domaines A et C.

3. Déterminer, par le calcul, la pente de la frontière entre les domaines  $\text{IO}_3^-$  et  $\text{I}_2$ .

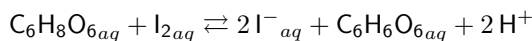
4. À l'aide du diagramme  $E - pH$ , déterminer la valeur du  $pK_a$  du couple  $\text{AscH}_2/\text{AscH}^-$ .

### Analyse des différentes étapes

5. À l'aide du diagramme  $E - pH$  de l'iode, expliquer pourquoi dans l'étape 2, on ajoute de l'acide phosphorique avant d'ajouter le diiode. Donner le type de réaction faisant intervenir le diiode  $\text{I}_2$  placé en milieu basique. Écrire l'équation de cette réaction.

6. Nommer les instruments de verrerie nécessaires pour prélever  $V_0 = 10,0 \text{ mL}$  de jus d'orange,  $V_1 \simeq 10 \text{ mL}$  d'acide phosphorique et  $V_2 = 20,0 \text{ mL}$  de solution de diiode.

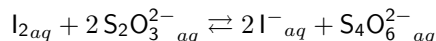
Au cours de l'étape 3, l'équation qui modélise la transformation chimique s'écrit :



7. À l'aide des diagrammes  $E - pH$ , justifier que l'acide ascorbique  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$  réagisse de façon quantitative avec le diiode  $\text{I}_2$ .

8. Justifier que, dans l'étape 3, on demande dans le protocole : *Attendre 20 minutes*.

L'équation de la réaction support du titrage se produisant au cours de l'étape 4 est :



On supposera que cette réaction est rapide.

9. Calculer la constante d'équilibre de la réaction de titrage. Conclure.

### Détermination du titre massique d'acide ascorbique dans un jus d'orange

10. Exprimer la quantité de matière  $n_{\text{I}_2,0}$  de diiode introduit dans l'erlenmeyer.

11. Exprimer la quantité de matière  $n_{\text{I}_2,e}$  de diiode qui a réagi lors du titrage.

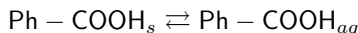
12. En déduire la quantité de matière d'acide ascorbique  $\text{AscH}_2$  présent dans la prise d'essai et la concentration molaire  $C(\text{AscH}_2)$  en acide ascorbique du jus d'orange.

13. En déduire la concentration massique  $C_m(\text{AscH}_2)$  en acide ascorbique du jus d'orange.

## B. Étude d'un conservateur agroalimentaire, l'acide benzoïque

L'acide benzoïque est un conservateur alimentaire ayant pour code E210. Un conservateur empêche la multiplication et le développement de certaines bactéries. Grâce aux additifs de conservation, les aliments ont des dates de péremption plus longues. L'acide benzoïque est notamment utilisé dans les jus de fruit pour lesquels les industriels préconisent une concentration d'acide benzoïque d'environ  $0,3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ .

On s'intéresse dans cette partie à la réaction de dissolution de l'acide benzoïque dans l'eau :



14. Exprimer la constante d'équilibre en fonction des activités des différentes espèces. Que valent ces activités ?

On donne à la figure 4, la loi d'évolution de la solubilité de l'acide benzoïque.

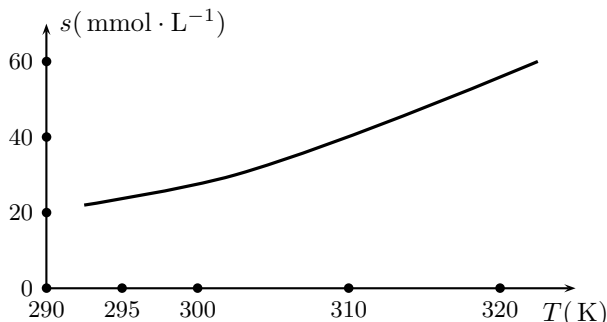


FIGURE 4 – Influence de la température sur la solubilité de l'acide benzoïque

15. À  $25^\circ\text{C}$ , justifier que la préconisation d'une concentration en acide benzoïque de  $0,3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  ne pose aux industriels aucun problème de dissolution de l'acide benzoïque.

16. Déterminer en justifiant le signe de l'enthalpie standard de réaction  $\Delta_r H^\circ$ .

17. À l'aide des différentes courbes de la figure 5, et en supposant que l'enthalpie standard de réaction  $\Delta_r H^\circ$  constante, déterminer l'enthalpie standard de la réaction étudiée.

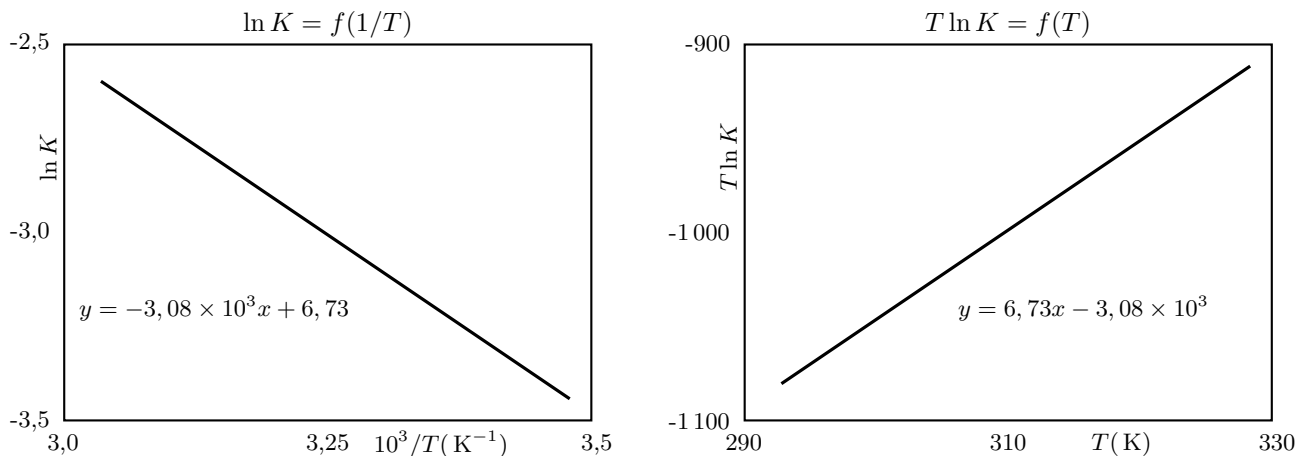
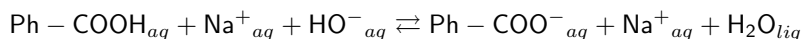


FIGURE 5 – Évolution de la constante d'équilibre en fonction de la température

À  $36^\circ\text{C}$ , la constante d'équilibre de la réaction de dissolution de l'acide benzoïque vaut  $3,94 \times 10^{-2}$ . On ajoute de l'acide benzoïque solide dans de l'eau. On verse ensuite quelques millilitres d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$ ). L'acide benzoïque  $\text{Ph} - \text{COOH}_{aq}$  réagit pour donner du benzoate de sodium ( $\text{Ph} - \text{COO}^- + \text{Na}^+$ ) suivant l'équation de réaction :



18. Comment varie la concentration de l'acide benzoïque en phase aqueuse lors de l'ajout de la solution d'hydroxyde de sodium ? En déduire le sens de déplacement de l'équilibre  $\text{Ph} - \text{COOH}_s \rightleftharpoons \text{Ph} - \text{COOH}_{aq}$ .

## Données

Les valeurs dépendantes de la température sont fournies à 298 K.

Formules brutes. Vitamine C :  $C_6H_8O_6$ . Radical phényl (Ph-) :  $C_6H_5-$ .

Potentiels standard

Couple	$I_{2aq}/I^-_{aq}$	$S_4O_6^{2-}_{aq}/S_2O_3^{2-}_{aq}$	$C_6H_6O_{6aq}/C_6H_8O_{6aq}$
$E^\circ$ (V)	0,62	0,08	0,13

Masses molaires

$$\begin{array}{c}
 \text{Acide ascorbique} \\
 M_{C_6H_8O_6} = 176 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{c}
 \text{Acide benzoïque} \\
 M_{C_7H_6O_2} = 122 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}
 \end{array}
 \right.$$

Constantes d'acidité

Couple	Ph – COOH <sub>aq</sub> /Ph – COO <sup>-</sup> <sub>aq</sub>	H <sub>2</sub> O/HO <sup>-</sup> <sub>aq</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> <sub>aq</sub> /H <sub>2</sub> O
$pK_a$	4,2	14,0	0

$$T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$$

$$\frac{RT}{F} \ln 10 = 0,06 \text{ V}$$

$$\text{Constante des gaz parfaits : } R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$