Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

Baccalauréat général

Session 2021 – Amérique du Nord

Épreuve de Physique-Chimie

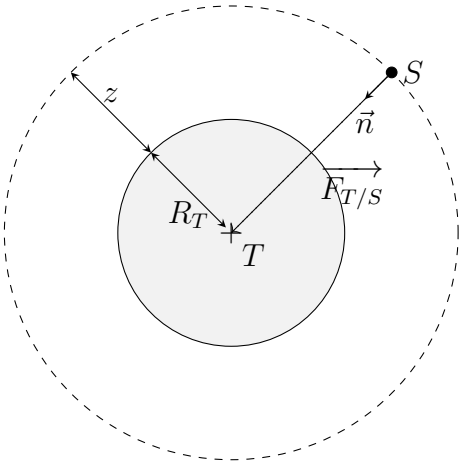
Sujet de spécialité — Proposition de corrigé
Sujet 2

Ce corrigé est composé de 10 pages.

Exercice 1 — La mission GRACE-FO

A. Caractéristiques de l'orbite

A.1. On fait un schéma de la trajectoire circulaire du satellite autour de la terre à une altitude z, et le vecteur normal $\vec{n}$ orienté du satellite vers le centre de la terre :



A.2. Le satellite, à une altitude z, est donc séparé d'une distance $(R_T + z)$ du centre de la Terre. Sur son centre de masse S s'exerce donc la force :

$$\boxed{\overrightarrow{F_{T/S}} = G\frac{mM_T}{(R_T+z)^2}\vec{n}}$$

On représente cette force sur le schéma de la question précédente.

A.3. Par un bilan des forces appliqué au satellite dans le référentiel géocentrique, on remarque que la seule force s'exerçant sur ce dernier est l'action de la Terre, assimilable à son poids $m\vec{g}$. Par identification, il vient alors :

$$\boxed{\vec{g} = G\frac{M_T}{(R_T+z)^2}\vec{n}}$$

A.4. De la même manière, il vient par application de la loi de quantité de mouvement l'accélération du satellite :

$$\sum \overrightarrow{F_{\text{ext}}} = m\vec{a} \implies m\vec{a} = \overrightarrow{F_{T/S}} \implies \boxed{\vec{a} = \vec{g} = G\frac{M_T}{(R_T+z)^2}}$$

A.5. En particulier, si le mouvement est circulaire, alors la valeur de $\vec{g}$ est constante (en norme, sens et direction), il en est donc de même pour l'accélération $\vec{a}$.

L'accélération étant constante, le mouvement est uniforme.

A.6. Le mouvement étant circulaire uniforme, le satellite étant soumis uniquement à l'action de la Terre, normale à sa trajectoire, on a la relation :

$$v^2 = \frac{a}{R_T+z} \implies v^2 = G\frac{M_T}{R_T+z}$$

D'où, il vient :

$$\boxed{v = \sqrt{G\frac{M_T}{R_T+z}}}$$

A.7. Le satellite parcourt, sur une période T, une distance $2\pi(R_T+z)$ à la vitesse constante v.

D'où,

$$T = \frac{2\pi(R_T+z)}{v} = 2\pi(R_T+z)\sqrt{\frac{R_T+z}{GM_T}}$$

Et finalement, en entrant (R_T+z) dans la racine, il vient :

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T+z)^3}{GM_T}}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{(6371\times10^3+490\times10^3)^3}{6,67\times10^{-11}\times5,98\times10^{24}}} = \underline{5\,653,89\,\text{s}}$$

Et on remarque que $T = 5\,653,89\,\text{s} = 1,57\,\text{h} \approx \frac{24}{15}$. L'altitude des satellites leur permet donc de parcourir environ 15 fois leur orbite par jour.

A.8. La situation étudiée est celle du passage du satellite de tête au-dessus d'une irrégularité du champ gravitationnel terrestre. L'action de la Terre n'est donc plus normale à la trajectoire du satellite, et a donc une composante tangentielle dans le même sens que le vecteur vitesse.

Aussi, la situation présentée induit une augmentation de la distance entre les satellites.

B. Principe de fonctionnement de l'interféromètre embarqué

B.1. Le dispositif présenté sépare un faisceau lumineux issu d'une unique source laser en deux faisceaux distincts, avant de les faire rencontrer en un même point. On pourra donc bien observer des interférences, les sources des rayons 1 et 2 étant cohérentes.

B.2. Deux ondes interférant constructivement sont celles qui, à une position donnée, maximisent l'intensité résultante. Autrement dit, les interférences constructives correspondent aux *maxima* d'intensité sur la figure d'interférence.

B.3. Entre les points A et D, en prenant $n = 1$ indice optique constant du milieu (ici le vide), on définit la différence de marche comme la différence de longueur des chemins optiques :

$$\delta = (AD)_1 - (AD)_2 = ((AB)+(BC)+(CD)) - (AD)$$

Et en injectant les distances :

$$\delta = L + h + L - h \implies \boxed{\delta = 2L}$$

B.4. On peut alors exploiter cette expression en considérant l'éloignement de valeur d entre les deux satellites (de distance alors égale à $L+d$), et on obtient la nouvelle différence de marche : $\delta' = 2(L+d)$.

Il vient donc finalement :

$$\boxed{\Delta\delta = \delta' - \delta = 2(L+d) - 2L = 2d}$$

B.5. L'ordre d'interférence est donné par

$$p = \frac{\delta}{\lambda}$$

Et comme deux interférences constructives ont un écart $\Delta p = p' - p = \pm 1$ il vient alors, en remarquant que $p' > p$:

$$\Delta p = p' - p = \frac{\delta' - \delta}{\lambda} = \frac{2d}{\lambda} = 1$$

D'où, on a bien, entre deux interférences constructives successives, une variation de distance entre les satellites :

$$\boxed{d = \frac{\lambda}{2}}$$

B.6. On cherche la plus petite variation de distance mesurable par le dispositif interférométrique. Cette variation de distance minimale pouvant être détectée à partir de deux interférences constructives successives, elle vaut logiquement

$$\boxed{d_{\min} = \frac{\lambda}{2}} = 1064/2 = \underline{532\,\text{nm}} \gg L$$

On remarque donc une très bonne précision de la mesure par interférométrie.

Ce qui implique cependant un traitement (système optique par exemple) de la figure d'interférences afin de rendre réalisable cette mesure par les instruments embarqués.

C. Principe des accéléromètres

C.1. La capacité du condensateur varie en fonction de l'inverse de la distance entre ses armatures. Alors lorsque le déplacement X augmente, la capacité C diminue (et réciproquement, C augmente lorsque X diminue).

C.2. Premièrement, on sait que le champ $\vec{E}$ est orienté orthogonalement aux armatures, de l'armature chargée positivement vers l'armature chargée négativement, donc colinéaire et dans le même sens que le vecteur $\vec{\imath}$.

De plus, le condensateur étudié ayant des armatures planes, son champ électrique a pour norme :

$$E = \frac{U}{e + X}$$

Alors finalement, on a :

$$\boxed{\vec{E} = \frac{U}{e + X}\vec{\imath}}$$

C.3. On considère le cas où l'armature fixe est de charge q positive. Dans ce cas, la plaque mobile est soumise à une force $\vec{F} = -q\vec{E}_1 = -q\vec{E}/2$.

La force électrique $\vec{F}$ s'exerçant sur la plaque mobile est donc orientée dans la même direction que le champ électrique, et de sens opposé.

Le schéma représentant correctement la situation est donc le 2.

C.4. On considère également le cas d'une seconde armature fixe chargée négativement, symétrique à la première par rapport à la position initiale de la masse mobile.

L'information qui nous est donnée est que les forces exercées de part et d'autres de la masse mobile se compensent. Autrement dit, $\vec{F}_d = -\vec{F}_g$. On souhaite alors, à partir de cette information, remonter à une égalité entre les champs $\vec{E}_d$ et $\vec{E}_g$.

→ Tout d'abord, on sait que les deux champs sont dans la même direction et le même sens.

→ Ensuite, on sait que $\vec{F}_g = -q\vec{E}_g$ et $\vec{F}_d = +q\vec{E}_d$.

→ Finalement, en exploitant la relation entre les forces exercées de part et d'autres de la masse mobile, on a :

$$\vec{F}_g = -q\vec{E}_g = -\vec{F}_d = -q\vec{E}_d \implies -q\vec{E}_g = -q\vec{E}_d$$

D'où,

$$\boxed{\vec{E}_g = \vec{E}_d}$$

Exercice A — Protection des fondations en acier des éoliennes en mer

A. Protection du fer par l'aluminium

A.1. On réalise une pile, *a priori* siège de la réaction :

$$2\,\mathrm{Al(s)} + 3\,\mathrm{Fe^{2+}(aq)} \rightleftharpoons 2\,\mathrm{Al^{3+}(aq)} + 3\,\mathrm{Fe(s)}$$

Le quotient de réaction initial est donc (l'activité d'un solide étant égale à 1) :

$$\boxed{Q_{r,i} = \frac{[\mathrm{Al^{3+}}]_0{}^2 c^\circ}{[\mathrm{Fe^{2+}}]_0{}^3}}$$

A.2. Sont apportées les concentrations C_1 de chlorure de fer et C_2 de sulfate d'aluminium.
Un seul ion fer (II) étant apporté par le chlorure de fer II, on a $[\mathrm{Fe^{2+}}]_0 = C_1$.
À l'inverse, la solution de sulfate d'aluminium apportant deux ions aluminium (III), on a $[\mathrm{Al^{3+}}]_0 = 2C_2$.
D'où, $\underline{[\mathrm{Fe^{2+}}]_0 = 1,0 \times 10^{-1}\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}}$ et $\underline{[\mathrm{Al^{3+}}]_0 = 1 \times 10^{-1}\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}}$.

A.3. On peut désormais calculer le quotient initial de réaction ($c^\circ = 1\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$) :

$$Q_{r,i} = \frac{(2C_2)^2}{{C_1}^3} = \frac{(1,0\times10^{-1})^2}{(1,0\times10^{-1})^3} \underline{= 1 < K}$$

Le quotient initial de réaction étant inférieur à la constante d'équilibre K, la thermodynamique prévoit une évolution spontanée du système dans le sens direct.

A.4. La réaction se produisant sur l'électrode d'aluminium est la suivante :

$$\mathrm{Al(s)} \longrightarrow \mathrm{Al^{3+}(aq)} + 3\,\mathrm{e^-}$$

A.5. Les électrons se déplacent donc, en traversant la résistance et l'ampèremètre, de l'électrode d'aluminium vers celle de fer. La borne `COM` de l'ampèremètre étant dirigée vers l'électrode de fer, l'intensité négative mesurée est donc cohérente.

A.6. Ici, la réaction d'oxydation se produit sur sur l'électrode d'aluminium. Cette dernière est donc l'anode de la pile.

B. Masse d'aluminium nécessaire à la protection de la structure métallique

B.1. On a les demi-équations électroniques :

$$\begin{cases} \mathrm{O_2} + 2\,\mathrm{H_2O} + 4\,\mathrm{e^-} = 4\,\mathrm{HO^-} \\ \mathrm{Al^{3+}} + 3\,\mathrm{e^-} = \mathrm{Al(s)} \end{cases}$$

Alors finalement, multipliant la première par 3 et la seconde par 2 puis les combinant, l'équation de la réaction modélisant la corrosion de l'aluminium :

$$3\,\mathrm{O_2} + 4\,\mathrm{Al(s)} + 6\,\mathrm{H_2O} \longrightarrow 4\,\mathrm{Al^{3+}} + 12\,\mathrm{HO^-}$$

B.2. On a la capacité électrique :

$$Q = n(\mathrm{e^-})\mathcal{F} = 3n(\mathrm{Al})$$

Et comme on a également $Q = I\Delta t$ et $n = m/M$, il vient :

$$3\frac{m}{M_{\text{Al}}}\mathcal{F} = I\Delta t \implies \boxed{m = \frac{I\Delta t M_{\text{Al}}}{3\mathcal{F}}}$$

Alors pour un temps $\Delta t = 25\,\text{ans}$ et $I = 400\,\text{A}$:

$$m = \frac{400 \times (25 \times 365,25 \times 24 \times 3600) \times 27}{3 \times 96,5 \times 10^3} = 2,9 \times 10^7\,\text{g}$$

Il faut donc, pour protéger la structure métallique, une masse $\underline{m = 29\,\text{tonnes}}$ d'aluminium.

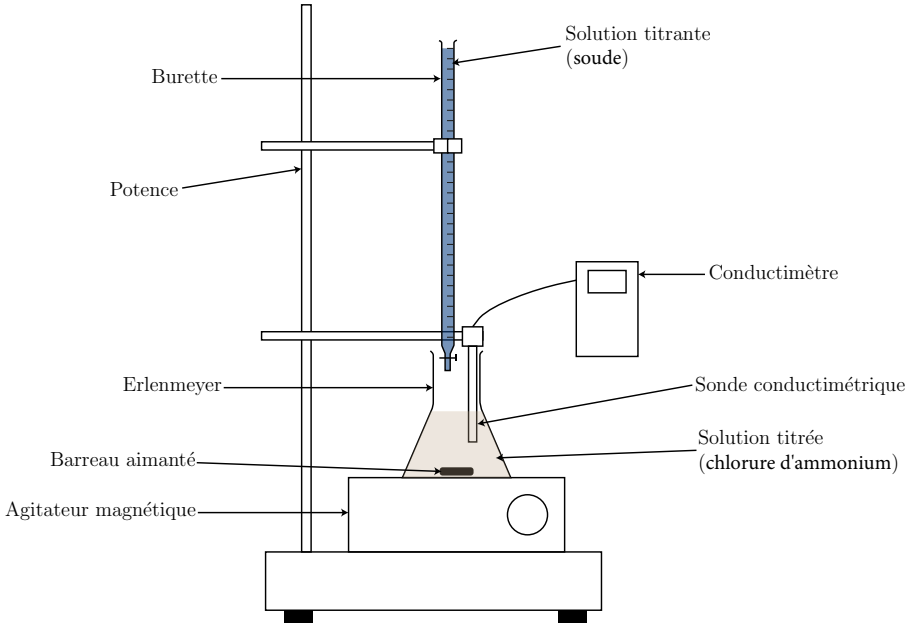
B.3. On comprend donc aisément, au vu de la masse conséquente d'aluminium nécessaire à la protection cathodique, que le constructeur ait renoncé à cette solution.

Exercice B — Additif alimentaire pour les agneaux

A. Réalisation du titrage

A.1. La réaction support du titrage consiste en un échange de proton entre NH_4^+ et HO^-, il s'agit donc d'une réaction acido-basique.

A.2. Le titrage conductimétrique est permis par le montage suivant :



A.3. On va exploiter les résultats du titrage conductométrique afin de déterminer la concentration molaire C_A de la solution de chlorure d'ammonium préparée par l'éleveur.

À l'équivalence (changement de pente sur la courbe $\sigma = f(V_b)$), on a :

$$n_A = n_b \implies C_A V_0 = C_B V_{\text{eq}} \implies \boxed{C_A = \frac{C_B V_{\text{eq}}}{V_A}}$$

D'où,

$$C_A = \frac{0,1 \times 14}{10} \underline{= 0,14\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

A.4. L'incertitude-type sur cette concentration étant égale à :

$$U(C_A) = C_A \times \sqrt{\left(\frac{U(C_B)}{C_B}\right)^2 + \left(\frac{U(V_{\text{eq}})}{V_{\text{eq}}}\right)^2 + \left(\frac{U(V_A)}{V_A}\right)^2}$$

Sachant que l'incertitude sur V_A, prélevé avec la pipette jaugée, est celle de cette dernière, il vient finalement :

$$U(C_A) = 0,14 \times \sqrt{\left(\frac{0,002}{0,100}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{14}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{10}\right)^2} = 3 \times 10^{-3}\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

D'où, $\underline{C_A = 0,14(\pm 0,003)\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$.

A.5. Finalement, cet encadrement permet de donner un encadrement de la masse de chlorure d'ammonium administrée par l'éleveur à son agneau.

Comme $m = nM$ et $n = CV$, il vient :

$$\boxed{m = C_A V M}$$

Alors

$$0,137 \times 1 \times 53,5 \leq m \leq 0,143 \times 1 \times 53,5$$

Et finalement, $\underline{7,3\,\text{g} \leq m \leq 7,6\,\text{g}}$ pour l'agneau de 25 kilogrammes.

Or, d'après les *partenaires de la production ovine en France*, la masse à administrer pour cet animal doit être, à 10 % près, $0,3 \times 25 = 7,5\,\text{kg}$.

La masse de chlorure d'ammonium administrée par l'éleveur est donc en accord avec les préconisations.

B. Simulation du titrage

B.1. Aux lignes 6, 7 et 8, on écrit respectivement `a = 1`, `b = 1` et `c = 1`.

B.2. Les variables `nS_A` et `nS_B` correspondent respectivement aux quantités de matière en ions chlorure et sodium présents dans l'erlenmeyer.

B.3. On cherche à associer chaque courbe à une espèce.

— Tout d'abord, on remarque que la figure 2 représente une quantité de matière constante lors du titrage. Ce qui correspond aux ions chlorure, présents dans l'erlenmeyer dès le départ et ne réagissant pas.

— Ensuite, la figure 4 représente une espèce dont la quantité de matière évolue linéairement sur toute la durée du titrage. On comprend qu'il s'agit des ions Na^+, ajoutés progressivement depuis la burette, et ne réagissant pas.

— Quant aux figures 3 et 5, la seconde décroit exactement lorsque la première croit, ce qui signifie que la seconde représente l'évolution de la quantité de matière en ions ammonium (réactif présent initialement), tandis que la première représente l'évolution de la quantité de matière en ammoniac NH_3 (produit de réaction).

— Finalement, la figure 1 peut être associée aux ions hydroxyde, de quantité nulle dans l'erlenmeyer (car réagissant instantanément avec NH_4^+) jusqu'à l'équivalence, puis augmentant linéairement après cette dernière.

B.4. Finalement, les lignes 12 et 19 se complètent, respectivement, en écrivant `Veq = Ca*Va/Cb` et `nB.append(0*0)`.

Exercice C — Analyse d'un pigment à base d'oxyde de fer

A. Préparation d'une gamme étalon de solutions d'ion fer III

A.1. La dissolution du chlorure de fer III hexahydraté est régie par l'équation :

$$\mathrm{FeCl_3} \longrightarrow \mathrm{Fe^{3+}} + 3\,\mathrm{Cl^-}$$

On calcule les ions Fer III dans S_0 :

$$25,0 \times 0,25 = 6,25\text{mg}$$

Quantité de matière correspondante :

$$\frac{6,25 \times 10^{-3}}{M_{\mathrm{Fe}}} = \frac{6,25 \times 10^{-3}}{55,9} = 1,118 \times 10^{-4}\text{mol}$$

$$M_{(\mathrm{FeCl_3\,6\,H_{20}})} = 55,9 + 3 \times 35,5 + 6 \times 18 = 270,4\,\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$$

Pour préparer la solution S_0, il faut donc une masse apportée en soluté de

$$m_S = 1,118 \times 10^{-4} \times 270,4 = 0,030\text{g}$$

A.2. Pour préparer la solution S_5, dilution de S_O par un facteur 5, il faut tout d'abord une fiole jaugée de 50 mL et une pipette jaugée de 1 mL, mais aussi de quoi apporter $5 \times 50\times^{-3} = 0,25$ mg d'ions fer III.

Comme nous avons à disposition la solution mère S_0, il faut alors en prélever une quantité $V_5 = 10,0$ mL. Pour cela, il faut prévoir une pipette jaugée de 10 mL (ou une de 5 mL pour deux pipetages).

A.3. La solution possède un maximum d'absorption à $\lambda = 490$ nm. Sa couleur est donc celle à l'opposé de cette valeur sur l'étoile chromatique, à savoir rouge.

A.4. La longueur d'onde la plus adaptée pour des mesures d'absorbance est donc $\lambda_0 = 490$ nm.

B. Réalisation de la courbe d'étalonnage

B.1. La loi de Beer-Lambert précise que l'absorbance est proportionnelle à la concentration en espèce colorée. La courbe d'étalonnage étant une droite, elle est compatible avec la loi de Beer-Lambert.

B.2. On a, en fonction de la concentration, la loi de Beer-Lambert :

$$A = kC$$

Avec k une constante.

Or, on peut lire graphiquement $k = 0,09$. D'où,

$$\boxed{A = 0,09C}$$

C. Préparation de l'échantillon

C.1. Le dosage spectrophotométrique repose sur la mesure de l'absorbance d'une solution, donc sur la mesure par le spectrophotomètre de la différence d'intensité entre un rayon initial et le rayon en sortie de l'espèce colorée.

Si cette dernière est trop concentrée, le rayon en sortie risque d'être d'intensité beaucoup trop faible pour être détectable ou mesurable, les variations risquant donc d'être trop difficilement perceptibles, et donc inexploitables.

C.2. On a Beer-Lambert et la courbe d'étalonnage :

$$A = 0,09C \implies C = \frac{A}{0,09} = \frac{0,313}{0,09} = 3,47\,\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

Or, la solution dosée est une dilution au dixième de la solution S. Donc $C_S = 10 \times 3,47 = 34,7\,\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.
La quantité d'ions fer III de la solution est de :

$$\frac{34,7 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-3}}{55,9} = 6,26 \times 10^{-5} mol$$

Or pendant la dissolution, une mole d'oxyde de fer libère deux moles d'ion fer III, donc :

$$n_{Fe2O3} = \frac{n_{Fe3+}}{2} = \frac{6,26 \times 10^{-5}}{2} = 3,13 \times 10^{-5} mol$$

La masse d'oxyde de fer III dans l'échantillon est alors de :

$$m_{Fe2O3} = n_{Fe2O3} \times M_{Fe2O3} = 3,13 \times 10^{-5} \times (2 \times 55,9 + 3 \times 16) = 5 \times 10^{-3} g = 5mg$$

5 mg d'oxyde de fer III dans 100 mg de poudre correspond à 5%. La valeur donnée par le fabriquant est donc correcte.

* *
*

Proposé par T. Prévost (thomas.prevost@protonmail.com),
pour le site https://www.sujetdebac.fr/
Compilé le 13 mai 2022.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.