

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

**Spécialité : Sciences Physiques et Chimiques en
Laboratoire**

SESSION 2016

LUNDI 20 JUIN 2016

**Sous-épreuve écrite de sciences physiques et
chimiques en laboratoire**

Coefficient de la sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de sciences physiques et chimiques en
laboratoire seront traités sur des copies séparées.**

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Ce sujet comporte **9** pages.

La page 9 est à rendre avec la copie.

Traversée de l'Atlantique à la voile



Un navigateur décide d'entreprendre la traversée de l'Atlantique en solitaire à bord d'un bateau à voiles. Au cours de cette aventure, il a besoin de connaître avec précision sa position. Pour cela, le bateau est équipé d'un récepteur GPS (Global Positioning System). Le navigateur est aussi amené à utiliser un pilote automatique pour pouvoir se reposer...

Le principe de fonctionnement du GPS et son alimentation électrique ainsi que les caractéristiques du pilote automatique sont abordés dans ce sujet.

Les trois parties sont indépendantes.

PARTIE 1 : UTILISATION D'UN RECEPTEUR GPS POUR SE REPERER EN MER (5 POINTS)

PARTIE 2 : ALIMENTATION D'UN RECEPTEUR GPS PAR UNE PILE AU LITHIUM (11 POINTS)

PARTIE 3 : UTILISATION DU PILOTE AUTOMATIQUE (4 POINTS)

PARTIE 1 : Utilisation d'un récepteur GPS pour se repérer en mer (5 points)

Donnée : la célérité des ondes émises par les satellites au cours de leur trajet est $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1.1. Le système GPS

- 1.1.1.** Donner la relation liant la fréquence f , la longueur d'onde (dans le vide) λ et la célérité c d'une onde électromagnétique.
- 1.1.2.** À l'aide des **documents 1 et 2**, en déduire dans quel domaine se situent les ondes utilisées dans un système GPS.
- 1.1.3.** Expliquer pourquoi il n'est pas envisageable d'utiliser des ondes sonores à la place des ondes électromagnétiques.

1.2. La précision du GPS

L'onde émise par le satellite GPS se propage jusqu'au récepteur embarqué dans le bateau. La durée des trajets entre différents satellites et le récepteur doit être mesurée avec une grande précision. À partir de ces mesures, on peut estimer la position du bateau mais il faut tenir compte des sources d'erreur présentées dans le **document 3**.

- 1.2.1.** Expliquer en quelques mots pourquoi le récepteur doit capter les ondes émises par le maximum de satellites.
- 1.2.2.** À l'aide du **document 3**, indiquer à quel phénomène physique s'apparente la modification de la direction de propagation des ondes à la traversée de l'ionosphère.

1.3. La vitesse du bateau

La vitesse du bateau peut être déterminée par effet Doppler : lorsque le satellite et le bateau se rapprochent, la période temporelle du signal reçu est inférieure à celle de la source et inversement.

La fréquence $f_{\text{reçue}}$ du signal reçu par le récepteur est inférieure de 31,5 kHz à celle de la fréquence f_1 émise par le satellite.

Indiquer si le satellite et le bateau s'éloignent ou se rapprochent l'un de l'autre. Justifier la réponse.

PARTIE 2 : Alimentation d'un récepteur GPS par une pile au lithium (11 points)

Le système de localisation GPS embarqué sur le bateau doit être alimenté par une tension élevée. La pile utilisée ici est une pile au lithium-chlorure de thionyle (Li-SOCl₂) ou pile LTC. Le **document 4** regroupe des données relatives à différents matériaux utilisés dans la conception de piles.

Données physicochimiques :

Constante de Faraday (charge d'une mole d'électrons) : $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

Masse molaire du lithium : $M_{\text{Li}} = 6,90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

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

Conversion d'unité de température : $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

Potentiel standard d'électrode du couple Li⁺/Li par rapport à l'ESH : $E_{\text{Li}^+/\text{Li}}^{\circ} = -3,04 \text{ V}$

Rappel : à 25 °C, $\frac{RT}{F} \times \ln(x) = 0,059 \times \log(x)$

2.1. Informations sur les piles au lithium

À partir du **document 4**, expliquer pourquoi le lithium (associé à une électrode de potentiel positif) est le matériau le mieux adapté à la conception d'une pile utilisée pour l'alimentation du récepteur GPS. Trois arguments sont attendus.

2.2. Fonctionnement d'une pile au lithium

La pile LTC utilisée ici est constituée :

- d'une électrode de lithium métal,
- d'une électrode constituée de carbone poreux rempli de chlorure de thionyle (SOCl₂) et de tétrachloroaluminate de lithium LiAlCl₄ (avec [Li⁺] = 0,010 mol·L⁻¹).

2.2.1. L'électrode de lithium présente un potentiel $E_{\text{Li}} = -3,16 \text{ V}$ (à 25 °C).

Écrire la demi-équation électronique pour le couple Li⁺/Li. Écrire l'expression littérale du potentiel E_{Li} à l'aide de la relation de Nernst, et retrouver la valeur donnée ci-dessus.

Lors du fonctionnement de la pile, l'électrode de carbone est le siège de la réaction électrochimique dont l'équation est : $2 \text{SOCl}_2 + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{Cl}^- + \text{SO}_2 + \text{S}$.

Dans les conditions d'utilisation de la pile, l'électrode de carbone adopte un potentiel $E_{\text{carbone}} = +0,65 \text{ V}$.

2.2.2. Calculer la force électromotrice de la pile dans ces conditions de fonctionnement.

2.2.3. Écrire l'équation d'oxydoréduction de fonctionnement de la pile.

2.2.4. Indiquer quelle électrode constitue l'anode et quelle électrode constitue la cathode. Justifier la réponse.

2.3. Durée de fonctionnement du récepteur GPS

Le navigateur estime que sa traversée de l'Atlantique durera au moins 22 jours. Il cherche donc à déterminer l'autonomie des piles au lithium.

On considère que le récepteur GPS est alimenté par une pile contenant une masse $m = 1,20 \text{ g}$ de lithium métallique.

2.3.1. Le lithium est le réactif limitant lors du fonctionnement de la pile. En déduire que la charge électrique ou quantité d'électricité Q débitée par la pile une fois que tout le lithium aura été consommé vaut $Q = 1,68 \times 10^4 \text{ C}$.

2.3.2. Sachant que l'intensité I fournie au récepteur GPS vaut $I = 10,00 \text{ mA}$, vérifier qu'il présente une autonomie $\tau = 19,4 \text{ jours}$.

L'incertitude U_τ sur l'autonomie peut être calculée à l'aide de l'expression suivante :

$$\frac{U_\tau}{\tau} = \sqrt{\left(\frac{U_{m_{Li}}}{m_{Li}}\right)^2 + \left(\frac{U_I}{I}\right)^2}$$

2.3.3. Sachant que $\frac{U_{m_{Li}}}{m_{Li}} = 2,5 \times 10^{-2}$ et que $\frac{U_I}{I} = 0,2 \times 10^{-2}$, en déduire que l'incertitude sur l'autonomie

peut être calculée de façon simplifiée à l'aide de l'expression suivante : $\frac{U_\tau}{\tau} = \frac{U_{m_{Li}}}{m_{Li}}$.

2.3.4. Écrire la valeur de l'autonomie τ sous la forme : $\tau_{estimée} = \tau \pm U_\tau$.

2.3.5. Indiquer si l'autonomie du récepteur GPS paraît suffisante. Argumenter la réponse.

PARTIE 3 : Utilisation du pilote automatique (4 points)

Lorsque le navigateur active le pilote automatique, le bateau peut être considéré comme un système régulé, dont le principe simplifié est décrit dans le **document 5**. Cette partie a pour objectif la vérification du bon fonctionnement du capteur d'angle et l'évaluation des performances du pilote automatique.

3.1. Vérification du capteur d'angle

Le navigateur trouve que son pilote n'est plus aussi efficace qu'auparavant. Il pense que le capteur-transmetteur d'angle est dérégulé. Pour vérifier son hypothèse il mesure l'intensité du signal fourni par le capteur-transmetteur. Cette intensité a pour valeur $I = 18,0$ mA lorsque l'angle α vaut 10° .

À l'aide du **document 6**, répondre aux questions suivantes.

3.1.1. Préciser quel type de filtre pourrait être utilisé pour éliminer les signaux parasites, en justifiant rapidement la réponse.

3.1.2. Indiquer si les soupçons du navigateur sont justifiés. Expliquer le raisonnement.

3.2. Évaluation des performances du pilote automatique

Le temps de réponse à 5 % d'un système est la durée mise par la valeur de la grandeur de sortie pour rester constamment entre 95 % et 105 % de sa valeur finale.

À l'aide du **document 7** et du **document réponse**, répondre aux questions suivantes.

3.2.1. Déterminer graphiquement le temps de réponse à 5 % du système. **Joindre à la copie le document réponse complété.**

3.2.2. Commenter ce résultat en comparant les performances du pilote automatique à celles d'un navigateur moyennement expérimenté.

Document 1 : Principe du GPS



Le système GPS est constitué d'une constellation de 24 satellites situés dans le vide spatial à 20184 km. Ces satellites émettent des ondes électromagnétiques qui se propagent à la vitesse de la lumière. Les fréquences des ondes électromagnétiques utilisées dans le système GPS sont :

$$f_1 = 1575,42 \text{ MHz}$$

$$f_2 = 1227,60 \text{ MHz}$$

Il est possible de déterminer la distance qui sépare un récepteur d'un satellite en mesurant la durée du parcours des ondes émises par les satellites. Le récepteur choisit les satellites les mieux disposés dans le ciel, lui permettant de connaître sa position.

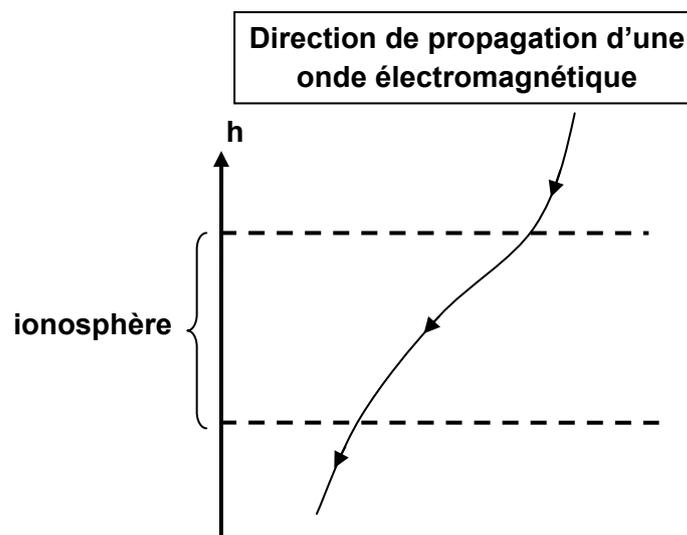
Document 2 : Domaines des ondes électromagnétiques

Rayonnement électromagnétique	<i>Gamma</i>	<i>X</i>	<i>Ultraviolet</i>	<i>Visible</i>	<i>Infrarouge</i>	<i>Radio</i>
Longueurs d'onde dans le vide	10^{-15} à 10^{-11} m	10^{-11} à 10^{-8} m	10^{-8} à 4×10^{-7} m	4×10^{-7} à 8×10^{-7} m	8×10^{-7} à 10^{-3} m	10^{-3} à 10^3 m

Document 3 : Sources d'erreur du GPS

Pour bénéficier d'une précision de l'ordre de 10 m dans le positionnement, il faut tenir compte :

- des erreurs de positionnement des satellites,
- des erreurs de synchronisation : imprécision sur la mesure de durée du parcours des ondes,
- des erreurs liées à la modification de la direction de propagation de l'onde dans l'ionosphère (couche de l'atmosphère constituée d'un gaz ionisé appelé le plasma). Les ondes émises par les satellites GPS sont déviées en pénétrant dans l'ionosphère comme l'indique la figure ci-dessous (h représente l'altitude) :



Document 4 : Caractéristiques de quelques matériaux constitutifs d'une pile

Matériau	Capacité massique ⁽¹⁾ (A·h·kg ⁻¹)	Masse volumique (g·cm ⁻³)	Potentiel standard par rapport à l'ESH ⁽²⁾ (V)
Lithium	3889	0,53	- 3,04
Aluminium	2980	2,70	- 1,66
Zinc	820	7,14	- 0,76
Cadmium	477	8,65	- 0,40

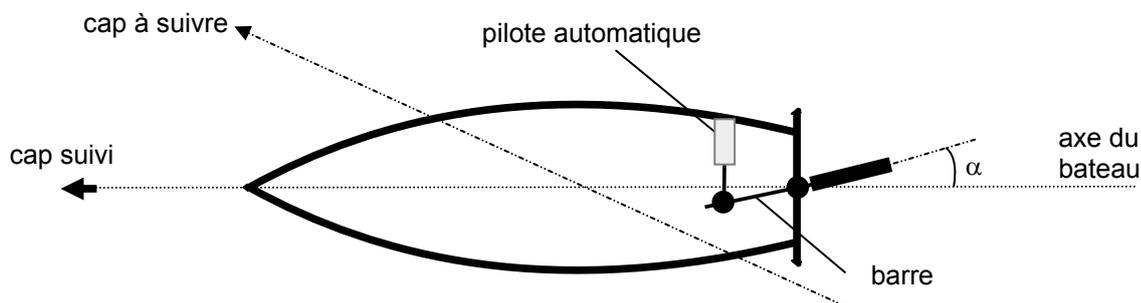
(1) Quantité maximale d'électricité que peut fournir la pile par kilogramme du matériau la constituant. L'ampère-heure (A·h) est une unité de mesure de charge électrique (1 A·h = 3600 C).

(2) Électrode Standard à Hydrogène

Document 5 : Le pilote automatique

Pour aller d'un point à un autre, un bateau doit suivre un cap déterminé. Le cap est défini comme l'angle entre la direction du nord magnétique et la direction de la route du bateau.

Un bateau est soumis à de nombreuses perturbations (courants, vagues, vents...) qui ont tendance à le dévier de sa route. Garder un cap, c'est à dire suivre une ligne droite, est donc une tâche difficile qui demande une attention soutenue. Pour pouvoir se reposer ou être libéré pour d'autres tâches, le navigateur peut avoir recours à un pilote automatique.



Le navigateur indique au pilote automatique le cap à suivre.

Un compas magnétique mesure en permanence le cap suivi par le bateau et transmet la valeur de cette mesure au pilote automatique.

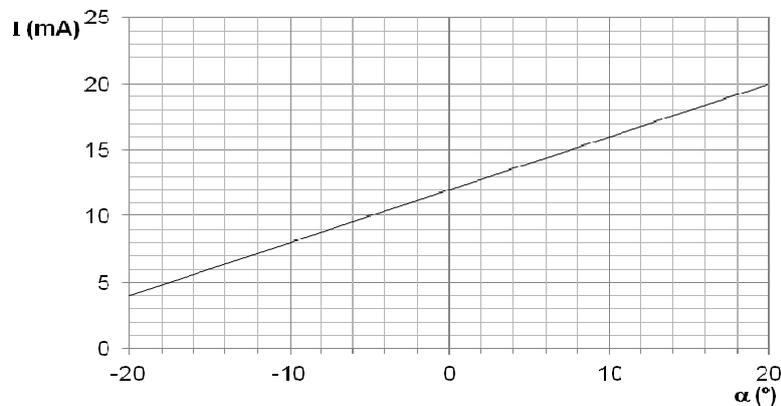
Si le bateau suit le cap indiqué, la barre reste immobile et droite.

Si le bateau dévie du cap à suivre (voir figure ci-dessus), le pilote automatique agit sur la barre. L'angle α entre la direction de la barre et celle de l'axe du bateau est alors modifié de manière à ramener le bateau sur le cap à suivre.

Document 6 : Captage de la position de la barre

Pour positionner correctement la barre, le pilote automatique doit connaître la valeur de l'angle α entre la direction de la barre et celle de l'axe du bateau. Un capteur-transmetteur d'angle lui fournit cette information sous forme d'un signal normalisé 4 - 20 mA. Ce dispositif peut être soumis à des signaux parasites de hautes fréquences.

L'évolution de l'intensité I en fonction de l'angle α est donnée dans le graphique ci-dessous.



Document 7 : Performances du pilote automatique

Le constructeur du pilote fournit des courbes (voir **document réponse**) permettant d'évaluer les performances de son appareil.

Le protocole suivi pour obtenir ces courbes est le suivant :

- un bateau, semblable à celui étudié, navigue sous pilote automatique en faisant cap au Nord (cap 0°) dans des conditions courantes de navigation (vent modéré assez régulier, mer peu formée et courants faibles),
- à $t = 0$ s, on réalise alors un brusque changement du cap à suivre : on règle le cap à 40° ,
- on enregistre les mesures du cap suivi jusqu'à stabilisation.

À titre de comparaison, un navigateur moyennement expérimenté peut changer de cap en deux minutes environ.

Question 3.2.1.

Courbe de la réponse du bateau sous pilote automatique
à une demande de changement de cap
(À COMPLÉTER)

