

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : STL
Spécialité Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire

SESSION 2016

CBSV : sous épreuve coefficient 4
Sciences physiques et chimiques en laboratoire : sous épreuve coefficient 4

LUNDI 20 JUIN 2016

Durée totale de l'épreuve : 4 heures

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

Dès que les sujets vous sont remis, assurez-vous qu'ils sont complets.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Série : Sciences et Technologies de Laboratoire

**Spécialités : - Biotechnologies
- Sciences physiques et chimiques
en laboratoire**

SESSION 2016

**Sous-épreuve écrite de
Chimie – biochimie – sciences du vivant**

LUNDI 20 JUIN 2016

Coefficient de cette sous-épreuve : 4

Ce sujet est prévu pour être traité en deux heures.

**Les sujets de CBSV et de spécialité seront traités
sur des copies séparées.**

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Ce sujet comporte **9** pages.

Partie 1 : pages 2 à 4
Partie 2 : pages 5 à 9

Les 2 parties sont indépendantes.

Partie I : les digesteurs de boues (8 points)

L'excédent des boues issues des stations d'épuration peut être éliminé dans des digesteurs de boues.

L'objectif de cette étude est de comprendre comment certaines voies métaboliques d'organismes vivants sont exploitées par l'être humain pour valoriser les boues excédentaires des stations d'épuration.

Le **document A** montre un des microorganismes présents dans un digesteur de boues.

- 1.1. Déterminer le moyen d'observation qui a permis d'obtenir la photographie du **document A**, en argumentant la réponse.

Fonctionnement des digesteurs de boues

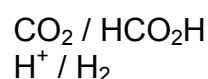
- 1.2. À partir du **document B**, construire le schéma représentant la chaîne trophique d'un digesteur de boues correspondant aux trois étapes du fonctionnement. Pour chaque étape préciser les groupes de microorganismes responsables et les molécules produites.

Étude d'une voie de méthanogenèse

La plupart des méthanogènes sont des organismes hydrogénotrophes qui produisent du méthane par réduction du dioxyde de carbone en présence de dihydrogène comme agent réducteur. La voie métabolique simplifiée de cette méthanogenèse est présentée dans le **document C**.

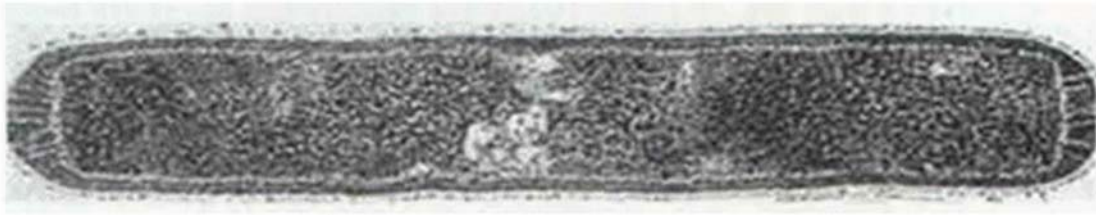
- 1.3. Après avoir recopié sur la copie les molécules A, B et C du **document C**, entourer les groupes caractéristiques et identifier les fonctions chimiques correspondantes pour chacune des molécules.
- 1.4. Chacune de ces quatre étapes est une réduction. Argumenter cette affirmation dans le cas de l'étape 2.
- 1.5. Établir l'équation de la réaction d'oxydoréduction de l'étape 1 entre le dioxyde de carbone et le dihydrogène.

On donne les couples :



- 1.6. Donner la condition nécessaire sur l'enthalpie libre apparente de réaction $\Delta_r G^\circ$ pour que cette réaction soit favorisée dans les conditions biologiques (pH = 7 et 37°C).

Document A : exemple de microorganisme méthanogène : *Methanopyrus kandleri*



Echelle :  0,1 µm

Moyen d'observation	Œil humain	Microscope photonique	Microscope électronique à transmission
Pouvoir de résolution	0,2 mm	0,2 µm	2 nm

Document B : fonctionnement des digesteurs de boues

Un digesteur de boues désigne une enceinte hermétique dans laquelle des microorganismes anaérobies vont s'alimenter des matières organiques contenues dans les boues.

On peut schématiquement distinguer trois étapes dans le fonctionnement d'un digesteur de boues. Chaque étape est réalisée par un groupe différent de microorganismes en l'absence de dioxygène. Agissant en interaction et de façon complémentaire d'un point de vue métabolique, ces différents microorganismes forment une véritable chaîne trophique en anaérobiose.

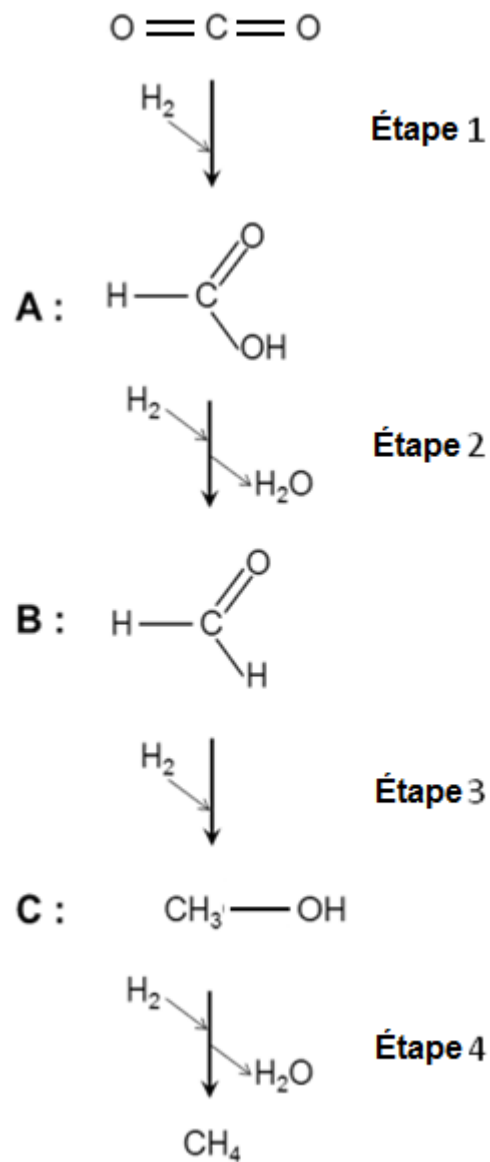
Dans un premier temps, les matières organiques complexes contenues dans les boues subissent des fermentations assurées par des microorganismes fermentaires. Ces fermentations libèrent notamment une grande variété d'acides organiques et d'alcools.

Dans un second temps, le groupe des microorganismes acétogènes permet la transformation des divers composés issus de la phase précédente en précurseurs directs du méthane : l'acide acétique CH_3COOH , le dioxyde de carbone CO_2 et le dihydrogène H_2 .

Les microorganismes méthanogènes assurent la troisième et dernière étape de la digestion des boues qui aboutit à la production de méthane CH_4 gaz combustible utilisé par l'être humain comme source d'énergie. Il existe deux voies possibles de méthanogenèse :

- l'une à partir du dihydrogène H_2 et du dioxyde de carbone CO_2
- l'autre à partir de l'acide acétique CH_3COOH .

Document C : voie métabolique simplifiée de la méthanogenèse par réduction du CO₂



Partie 2 : étude d'un traitement enzymatique du glaucome (12 points)

Le glaucome est une pathologie qui touche l'œil. Il se manifeste par une dégénérescence progressive du nerf optique pouvant aller jusqu'à la cécité. L'un des signes de la maladie est une augmentation de la pression de l'humeur aqueuse de l'œil (appelée aussi pression intraoculaire), ce qui entraîne la destruction du nerf optique par compression.

On cherche à comprendre une voie de traitement d'une forme de glaucome.

Le **document D** présente l'humeur aqueuse et son renouvellement.

Le **document E** est une coupe transversale de la partie antérieure de l'œil.

- 2.1. Émettre deux hypothèses permettant d'expliquer l'augmentation de la pression intraoculaire, responsable de l'apparition d'un glaucome.

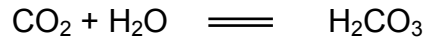
Origine génétique d'une forme de glaucome

La myociline est une protéine présente au niveau du trabéculum. Des mutations dans le gène codant la myociline sont associées à une pression intraoculaire élevée et au développement d'une certaine forme de glaucome. La myociline codée par l'allèle muté perturbe le fonctionnement du trabéculum (**document F**).

- 2.2. À l'aide des connaissances et du tableau du code génétique fourni **en annexe**, donner les deux chaînes polypeptidiques correspondant respectivement aux séquences de l'allèle de référence et de l'allèle muté du gène.
- 2.3. Formuler une hypothèse sur une des conséquences possibles de la mutation sur la structure de la chaîne polypeptidique de myociline.
- 2.4. Proposer une explication au fait que la myociline mutée intervient dans l'augmentation de la pression intraoculaire.
- 2.5. Conclure sur la région de l'œil impliquée dans l'augmentation de la pression intraoculaire pour cette forme de glaucome.

Une voie de traitement du glaucome

Pour limiter l'évolution de cette pathologie, un traitement est possible en utilisant une molécule qui inhibe l'action de l'anhydrase carbonique, l'enzyme responsable de la synthèse de l'acide carbonique. Celle-ci catalyse la réaction suivante :



L'acide carbonique (H_2CO_3), produit au cours de cette réaction, se dissocie en milieu aqueux pour donner l'ion hydrogénocarbonate (HCO_3^-).

2.6. Écrire l'équation de la réaction acide-base entre l'acide carbonique et l'eau.

L'activité de l'anhydrase carbonique aboutit à l'apparition d'ions hydrogénocarbonate dans l'humeur aqueuse.

La sécrétion de l'humeur aqueuse met en jeu des phénomènes osmotiques : des échanges de matière entre le plasma et l'humeur aqueuse se font au travers d'une barrière semi-perméable.

2.7. Interpréter les observations expérimentales données dans le **document G** relatif à une modélisation simple des phénomènes osmotiques.

2.8. Mettre en lien la production d'ions hydrogénocarbonate dans l'humeur aqueuse et le volume de celle-ci.

Le dorzolamide est un inhibiteur de l'anhydrase carbonique utilisé pour limiter la pression intraoculaire. Le **document H** présente le mode d'action de cet inhibiteur sur l'enzyme.

2.9. Indiquer l'effet de l'inhibiteur sur l'activité catalytique de l'anhydrase carbonique.

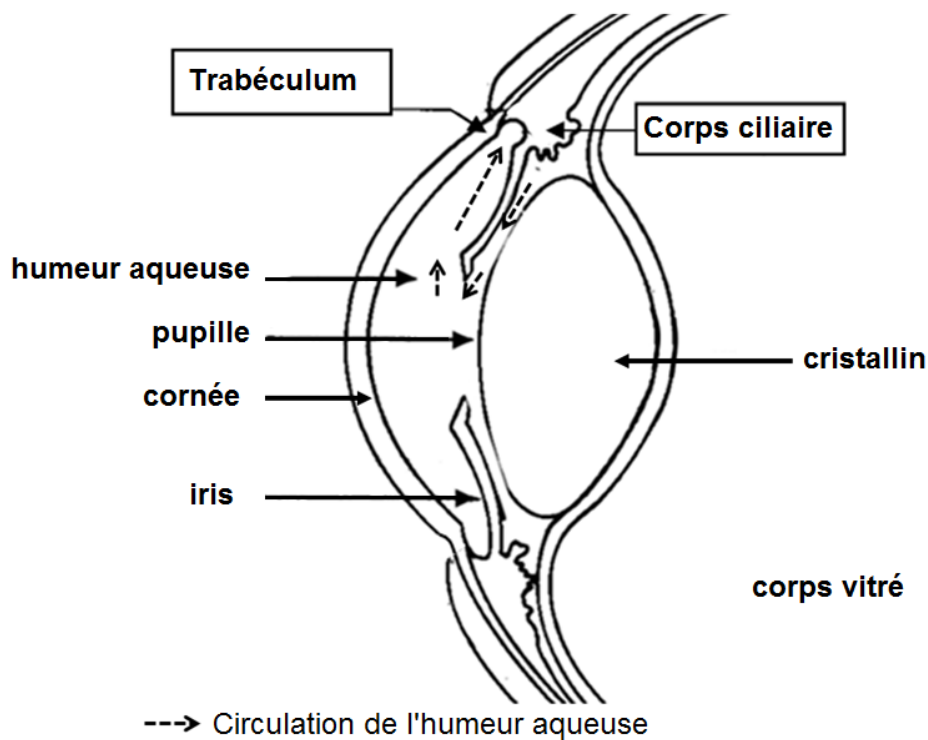
2.10. Expliquer en quoi l'action du dorzolamide provoque une baisse de la pression intraoculaire.

Document D : l'humeur aqueuse et son renouvellement

L'humeur aqueuse est un milieu aqueux transparent situé dans la partie antérieure de l'œil. Elle est indispensable pour assurer une bonne vision. Le renouvellement de l'humeur aqueuse est assuré par deux processus : une sécrétion à partir du plasma sanguin par les corps ciliaires, et une élimination par le trabéculum.

La pression intraoculaire dépend du volume de l'humeur aqueuse située entre le cristallin et la cornée.

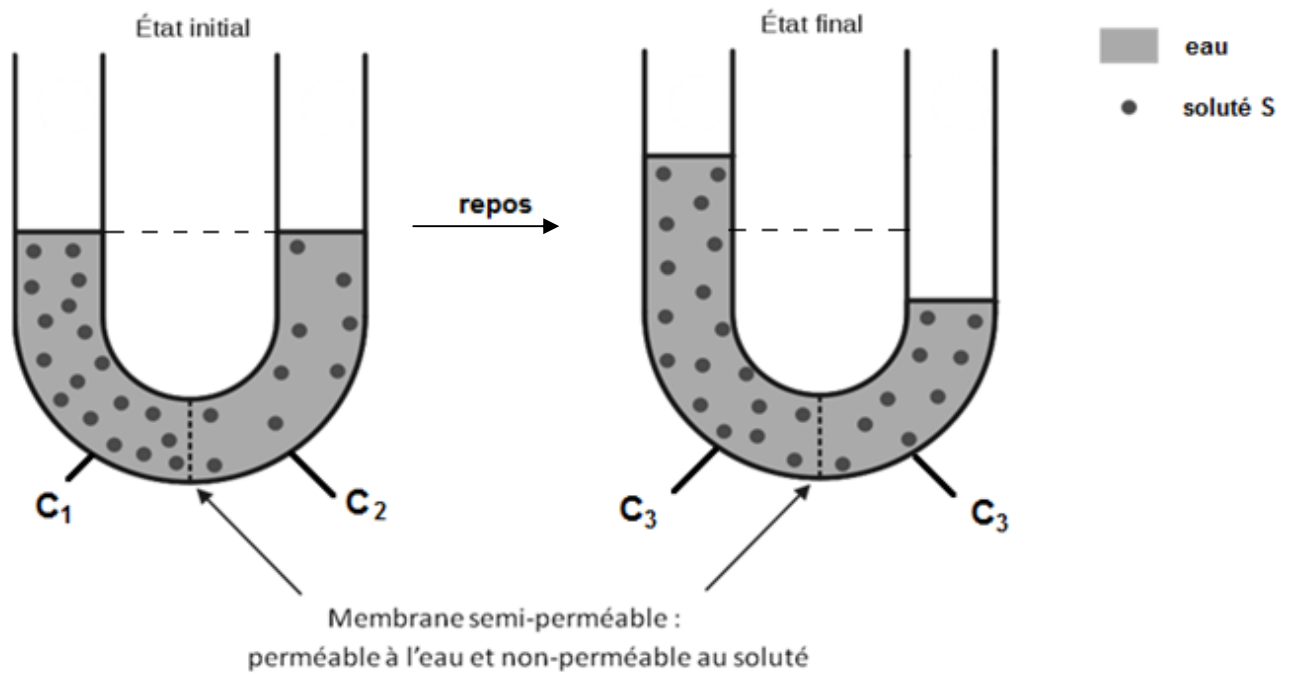
Document E : coupe transversale de la partie antérieure de l'œil



Document F : portion des séquences des brins transcrits de l'allèle de référence et de l'allèle muté du gène codant la myociline

	1092	2015
Allèle de référence	...CCCATAGTGCCTGTAAAGGGATG...	
Allèle muté	...CCCATAGTGCCTATTAAGGGATG...	

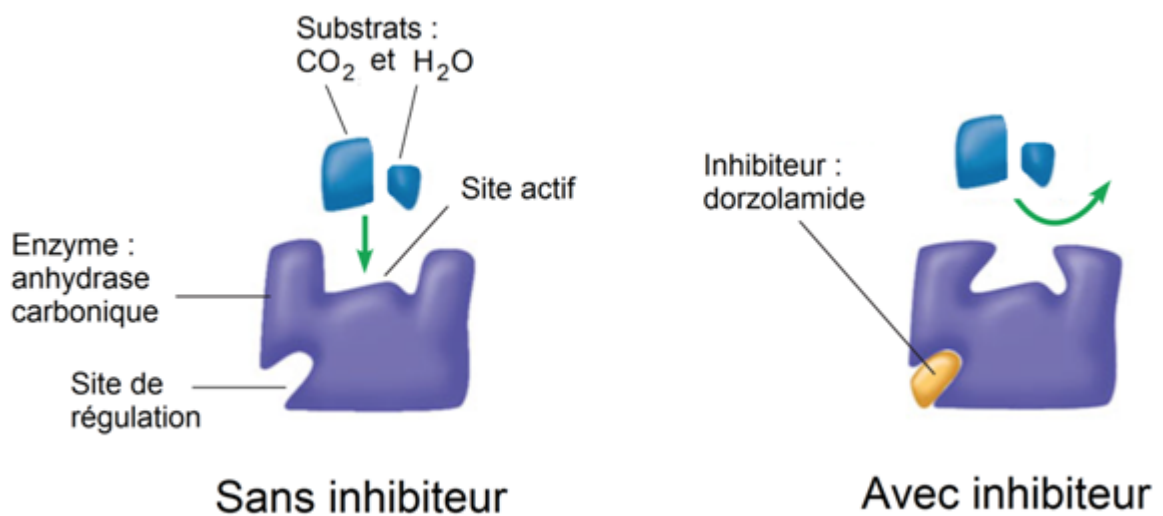
Document G : expérience mettant en évidence le principe de l'osmose



- C_i : concentration en soluté S
 $C_2 < C_3 < C_1$
- Le volume total de solution dans le tube en U est constant.

Document H : mode d'action du dorzolamide sur l'anhydrase carbonique

D'après : Campbell, *Biology : Concepts and Connections* (7^e édition)



Annexe : tableau du code génétique

		DEUXIEME NUCLEOTIDE					
		U	C	A	G		
PREMIER NUCLEOTIDE	U	UUU Phé	UCU Ser	UAU Tyr	UGU Cys	TROISIEME NUCLEOTIDE	U
		UUC Phé	UCC Ser	UAC Tyr	UGC Cys		C
		UUA Leu	UCA Ser	UAA Stop	UGA Stop		A
		UUG Leu	UCG Ser	UAG Stop	UGG Trp		G
	C	CUU Leu	CCU Pro	CAU His	CGU Arg		U
		CUC Leu	CCC Pro	CAC His	CGC Arg		C
		CUA Leu	CCA Pro	CAA Gln	CGA Arg		A
		CUG Leu	CCG Pro	CAG Gln	CGG Arg		G
	A	AUU Ile	ACU Thr	AAU Asn	AGU Ser		U
		AUC Ile	ACC Thr	AAC Asn	AGC Ser		C
		AUA Ile	ACA Thr	AAA Lys	AGA Arg		A
		AUG Met	ACG Thr	AAG Lys	AGG Arg		G
	G	GUU Val	GCU Ala	GAU Asp	GGU Gly		U
		GUC Val	GCC Ala	GAC Asp	GGC Gly		C
		GUA Val	GCA Ala	GAA Glu	GGA Gly		A
		GUG Val	GCG Ala	GAG Glu	GGG Gly		G

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 $[\text{Li}^+] = 0,010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$).

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

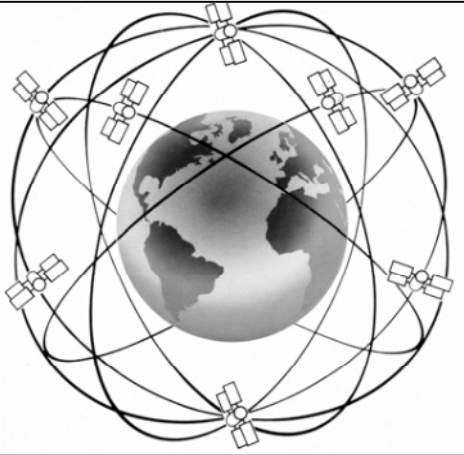
Le temps de réponse à 5 % d'un système est la durée mise par la valeur de la grandeur de sortie pour rester constamment entre 95 % et 105 % de sa valeur finale.

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.

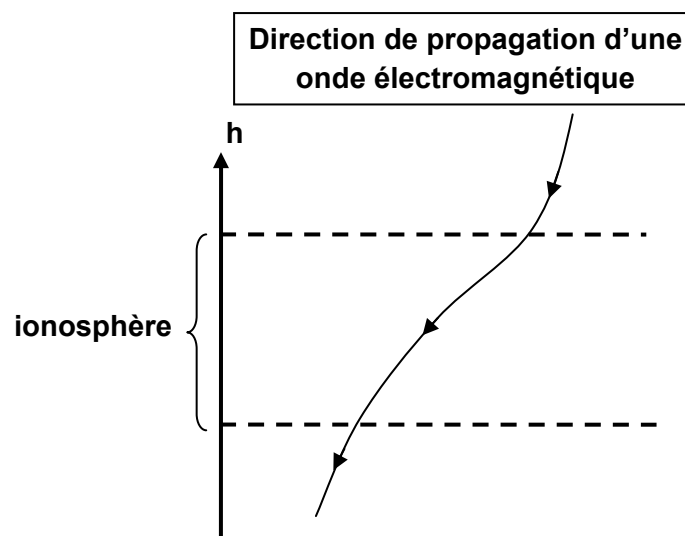
Document 2 : Domaines des ondes électromagnétiques

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

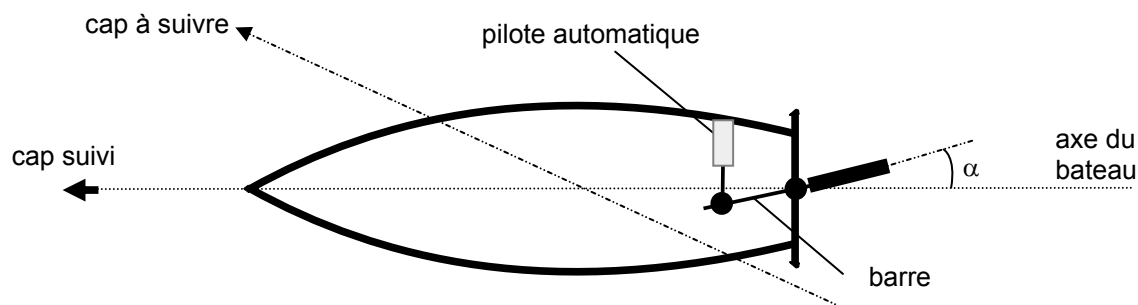
(1) Quantité maximale d'électricité que peut fournir la pile par kilogramme du matériau la constituant. L'ampère-heure (A·h) est une unité de mesure de charge électrique (1 A·h = 3600 C).

(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.

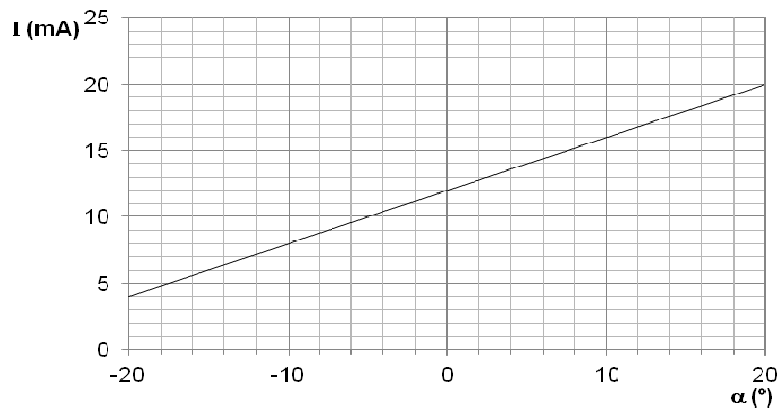
Si le bateau suit le cap indiqué, la barre reste immobile et droite.

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)

