

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SESSION 2019

Série STI2D
Toutes spécialités

Série STL
Spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

PHYSIQUE – CHIMIE

DURÉE : 3 HEURES

COEFFICIENT : 4

*L'USAGE DE TOUT MODÈLE DE CALCULATRICE,
AVEC OU SANS MODE EXAMEN, EST AUTORISÉ.*

Ce sujet comporte 13 pages numérotées de la page 1/13 à la page 13/13.

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet.

La page 13/13 où figurent les documents réponses est à numéroté et à rendre avec la copie même non complétée.

Lors des applications numériques, les résultats seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec ceux de l'énoncé et une attention particulière sera portée aux unités utilisées.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Les parties du sujet sont indépendantes et peuvent être traitées séparément dans l'ordre choisi par le candidat ou la candidate.

ENERGY OBSERVER

2017 – 2022

L'ODYSSÉE POUR LE FUTUR, À BORD DU PREMIER NAVIRE À HYDROGÈNE AUTOUR DU MONDE

Energy Observer est le premier navire à hydrogène visant l'autonomie énergétique, sans émission de gaz à effet de serre ni particules fines. Cet ancien bateau de course de légende, a été reconditionné en navire du futur à propulsion électrique fonctionnant grâce à un mix d'énergies renouvelables et à un système de production d'hydrogène décarbonée à partir de l'eau de mer.

D'après : <http://www.energy-observer.org>

Sur Energy Observer, le soleil et le vent sont les principales sources d'énergie. Le surplus produit est stocké pour une utilisation à court terme dans des batteries ou, à plus long terme, transformé en hydrogène grâce à un électrolyseur. L'hydrogène alimentera ensuite la pile à combustible pour produire de l'électricité et chauffer l'eau sanitaire.

D'après : <http://www.cea.fr/multimedia/>



Source : <http://www.energy-observer.org/fr/#bateau>

Le sujet se compose de trois parties indépendantes portant respectivement sur l'étude des panneaux photovoltaïques, l'utilisation d'une pile à hydrogène et l'utilisation d'une voile de kite surf.

PARTIE A – LE SOLEIL COMME SOURCE D'ÉNERGIE

PARTIE B – L'HYDROGÈNE, UN VECTEUR ÉNERGÉTIQUE

PARTIE C – ENERGY OBSERVER FAIT DU KITE SURF !

PARTIE A – LE SOLEIL COMME SOURCE D'ÉNERGIE

A.1 À l'aide du **document A1** de la **page 5**, citer au moins deux particularités des panneaux solaires équipant Energy Observer.

A.2 Rayonnement solaire

A.2.1 Décrire la structure d'une onde électromagnétique.

Les termes « champ » et « propagation » devront apparaître dans la description.

A.2.2 Une onde électromagnétique monochromatique est caractérisée par sa longueur d'onde λ . Citer une autre grandeur physique caractérisant cette onde et préciser son unité.

A.3 Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Données :

- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19}$ J

A.3.1 Compléter le bilan énergétique d'une cellule photovoltaïque sur le **document réponse DR1** de la **page 13**.

A.3.2 À l'aide du **document A2** de la **page 5**, déterminer la valeur minimale d'énergie E_{\min} , exprimée en joules, que doit posséder un photon pour que la cellule photovoltaïque produise un courant électrique.

A.3.3 Exprimer la relation donnant λ en fonction de E_{\min} et nommer les constantes physiques qui y figurent.

A.3.4 Montrer par le calcul que $\lambda = 1,13 \times 10^{-6}$ m.

A.3.5 Utiliser le **document A3** de la **page 5** pour déterminer le domaine auquel appartiennent ces ondes.

A.3.6 Justifier l'utilisation du silicium comme semi-conducteur adapté au domaine du visible.

A.4 Étude de la notice d'un panneau photovoltaïque

Les panneaux solaires à bord d'Energy Observer utilisent des technologies expérimentales qui restent pour le moment dans le domaine secret de la recherche. L'étude présente portera donc sur un panneau du commerce : le panneau « Bisun protect 290 » de Solar World.

A.4.1 En utilisant le **document A4** de la **page 6**, montrer qu'il serait possible d'installer 77 panneaux Bisun Protect 290 pour équiper la surface de 130 m² d'Energy Observer.

Au cours de l'année 2018, Energy Observer fait le tour de la Méditerranée. On peut considérer que l'ensoleillement moyen y est de l'ordre de 1 000 W/m².

A.4.2 Calculer la puissance lumineuse absorbée par l'ensemble des 77 panneaux photovoltaïques installés sur Energy Observer.

A.4.3 Donner l'expression du rendement appliqué aux puissances. En utilisant cette expression et une donnée du **document A4** de la **page 6**, déterminer la valeur du rendement maximal de l'installation des panneaux Bisun protect 290.

A.4.4 Caractériser le rendement de ce type de panneau photovoltaïque. Est-il, selon vous, excellent, convenable, faible ou très faible ?

PARTIE A : DOCUMENTS ANNEXES

Document A1 : le photovoltaïque à bord d'Energy Observer

130 m² de panneaux solaires recouvrent les flotteurs, le « pont » et la verrière de l'espace de supervision. Objectif : maximiser la production d'énergie solaire au mètre carré.

À l'Institut national de l'énergie solaire, les panneaux ont été développés spécifiquement pour répondre aux contraintes du bateau. Ils ont été réalisés sur mesure, galbés selon un rayon suffisant pour épouser la forme de la coque. Près des flotteurs et à l'arrière, des ailes ont été ajoutées et équipées de panneaux bifaces qui utilisent la technologie hétérojonction pour recueillir les rayons solaires directs et indirects, par réverbération sur la coque et les flots. Comme toute cette surface doit rester compatible avec le passage des équipiers, elle est recouverte d'un revêtement antidérapant. Les ingénieurs ont aussi adopté la basse tension et toute une connectique spéciale leur permettant de travailler sans risque électrique.

Source : <http://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/les-savanturiers/JournaldesSavanturiers-20web.pdf>

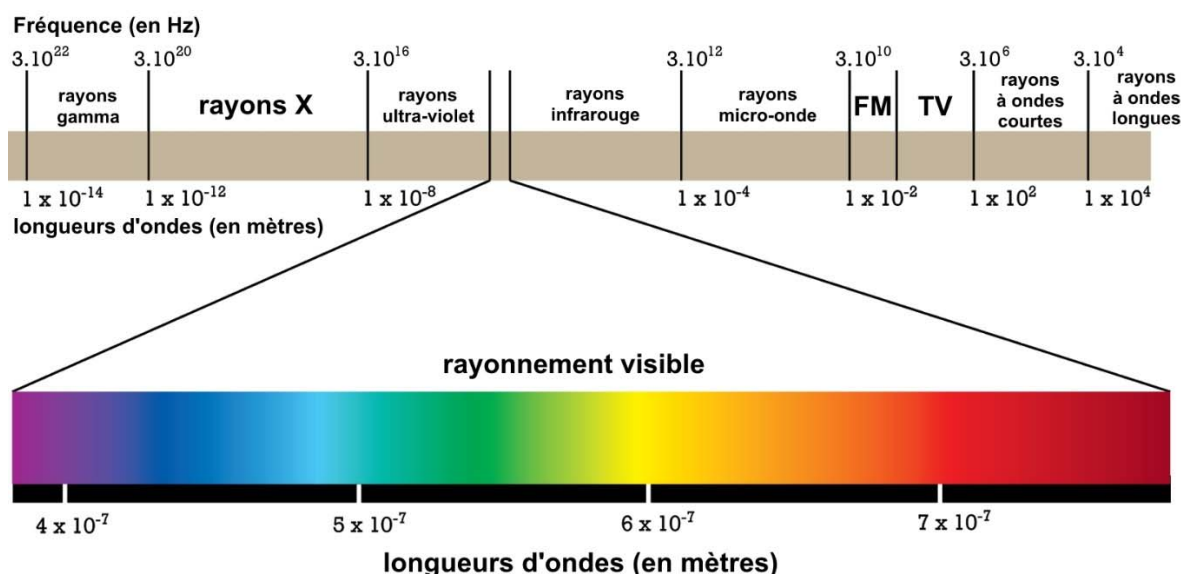
Document A2 : principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Pour convertir l'énergie des photons en énergie électrique, on utilise des cellules solaires constituées de semi-conducteurs. Ces matériaux sont caractérisés par une bande d'énergie interdite nommée « gap ». La valeur de ce gap dépend de la nature chimique et de la structure du matériau, sa valeur est de 1,10 eV pour le silicium monocristallin.

Un photon est absorbé par un semi-conducteur quand son énergie est supérieure au gap, sinon il le traverse ; ainsi, tous les photons d'énergie supérieure au gap peuvent être absorbés. Cependant, l'énergie en excès est vite perdue sous forme de chaleur et l'énergie électrique maximale que l'on peut espérer récupérer est égale à celle du gap.

D'après : Pour la Science, juillet 2010, « Des électrons contre du Soleil » de J.-M. Courty et E. Kierlik et Pour la Science, octobre 2010, « L'électricité, fille du Soleil » de D. Lincot et al.

Document A3 : spectre des ondes électromagnétiques



COMPORTEMENT LORS DE CONDITIONS DE TEST STANDARD (STC*)

Puissance au point de puissance maximale	P_{max}	290 W
Tension à vide	U_{oc}	39,8 V
Tension au point de puissance maximale	U_{mpp}	32,2 V
Courant de court-circuit	I_{sc}	9,65 A
Courant au point de puissance maximale	I_{mpp}	9,12 A

Tolérance sur la mesure de puissance (P_{max}) +/- 2 %

*STC : 1 000 W/m², 25 °C, AM 1.5

DIMENSIONS

Longueur	1675 mm
Largeur	1001 mm
Épaisseur	33 mm
Poids	21,5 kg

D'après :

https://www.solarworld.de/fileadmin/swi_downloads/produkte/sunmodule/datenblaetter/fr/swi_db_sunmodule_bisun_protect_290_fr.pdf

PARTIE B – L'HYDROGÈNE, UN VECTEUR ÉNERGÉTIQUE

B.1 Composition de l'hydrogène

Le dihydrogène, produit et consommé sur Energy Observer, est un gaz composé de deux atomes d'hydrogène. L'hydrogène est l'élément chimique le plus abondant de l'univers, présent en grande quantité dans les étoiles et les planètes gazeuses. Sur Terre, sa source la plus courante est l'eau. Mais il est le principal constituant (en nombre d'atomes) de la matière vivante. C'est l'élément chimique le plus simple puisqu'il est constitué d'un proton et d'un électron : ${}^1_1\text{H}$, mais il existe également deux isotopes en très faible abondance (0,2 % au total) : le deutérium ${}^2_1\text{H}$ et le tritium ${}^3_1\text{H}$.

Données :

- **Loi de Soddy** : au cours d'une réaction nucléaire, il y a conservation de la charge électrique et du nombre de masse.
- **Quelques noyaux** :

${}^1_1\text{H}$	${}^2_2\text{He}$	${}^3_3\text{Li}$	${}^4_4\text{Be}$
Deutérium	Hélium	Lithium	Béryllium

B.1.1 L'élément hydrogène possède 3 isotopes. Définir le terme isotope.

B.1.2 Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène. Il se désintègre avec émission d'un rayonnement β^- .

Le rayonnement β^- du tritium est peu pénétrant : les distances parcourues au maximum sont respectivement de 5 mm dans l'air et de 6 μm dans l'eau ou dans les tissus humains. La période de décroissance radioactive (demi-vie) du tritium est de 12,35 ans. Le tritium est un radionucléide à vie courte.

L'activité moyenne du tritium dans les mers et les océans est de 0,2 Bq/L. Pour comparaison, celle du lait est de 80 Bq/L.

B.1.2.1 Quelle est la particule émise lors d'un rayonnement β^- ?

B.1.2.2 Déterminer les valeurs manquantes du numéro atomique Z et du nombre de masse A dans l'équation ci-dessous. Justifier les valeurs trouvées. Identifier l'élément chimique correspondant au noyau obtenu.



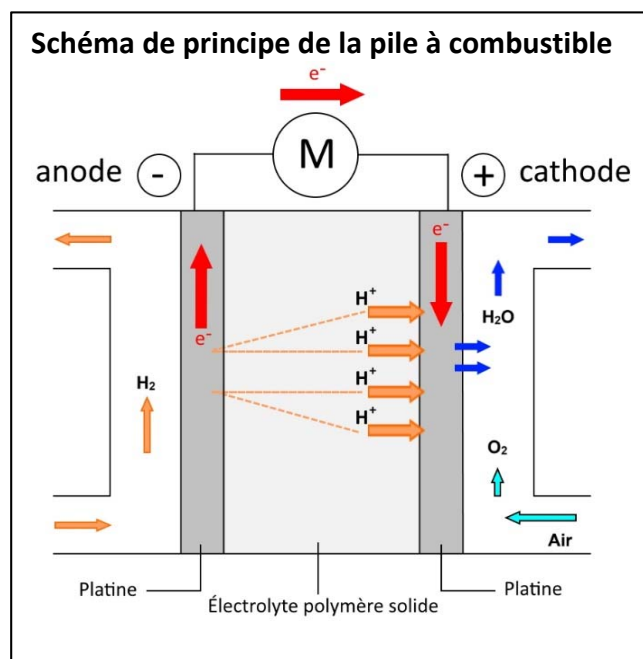
B.1.2.3 Donner la définition de l'activité Ac d'une source radioactive et préciser le nom de l'unité dont le symbole est Bq.

B.1.2.4 À l'aide du texte introductif aux **questions B.1.2**, donner deux raisons pour lesquelles la présence du tritium ne présente pas de danger pour l'Homme ou pour l'environnement.

B.2 Fonctionnement de la pile à combustible

La production d'électricité, à partir de dioxygène $O_{2(g)}$ et de dihydrogène $H_{2(g)}$ s'accompagne de la formation d'eau. C'est le principe de fonctionnement de la pile à combustible.

La pile à combustible est constituée de deux électrodes qui sont le siège d'une réaction d'oxydoréduction. Les électrons échangés lors de cette réaction sont contraints de passer par un circuit extérieur, les deux électrodes étant séparées par un électrolyte qui bloque le passage des électrons. Un courant électrique à l'extérieur de la pile est alors produit.



Données :

- Couples oxydoréducteurs intervenant :



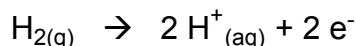
- 1 Faraday = 1 F = 96 500 C.mol⁻¹ ;
- Masse molaire moléculaire du dihydrogène : $M(H_2) = 2,0 \text{ g.mol}^{-1}$;
- Pouvoir calorifique inférieur de l'octane : $PCI = 44,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$;
- Masse volumique de l'octane : $\rho = 0,703 \text{ kg.L}^{-1}$.

Définition :

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'un combustible est l'énergie que peut dégager la combustion complète d'un kilogramme de combustible, mesurée en conservant l'eau à l'état de vapeur.

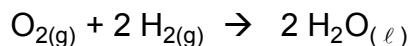
B.2.1 À l'aide du schéma de la pile ci-contre, préciser quelle électrode est le siège d'une oxydation. Justifier.

À l'anode, le dihydrogène libère des électrons et des ions H^+ selon la demi-équation :



B.2.2 En s'appuyant sur les données, écrire la demi-équation se déroulant à la cathode. Quel nom qualifie ce type de réaction ?

B.2.3 Montrer que l'équation de fonctionnement de la pile est :



L'ensemble des 8 réservoirs d'Energy Observer peut contenir jusqu'à 62 kg de dihydrogène.

B.2.4 Exprimer puis calculer la quantité de matière de dihydrogène disponible lorsque les réservoirs sont pleins.

B.2.5 À l'aide de la demi-équation se déroulant à l'anode, déterminer la quantité de matière d'électrons $n(e^-)$ qui circule dans le circuit extérieur si on consomme la totalité du dihydrogène.

B.2.6 On rappelle qu'un Faraday est la quantité d'électricité portée par une mole d'électrons. En déduire la quantité d'électricité totale, notée Q , débitée par la pile.

B.2.7 Choisir, en justifiant la démarche, la relation à appliquer pour calculer l'énergie électrique, E , disponible dans cette pile lorsqu'on mesure une tension, U , aux bornes de la pile qui débite :

$$E = \frac{Q}{U}$$

$$E = \frac{U}{Q}$$

$$E = Q \times U$$

B.2.8 On estime que la tension aux bornes de la pile lorsqu'elle débite vaut 1,3 V. Montrer que l'énergie électrique maximum disponible est alors d'environ $7,8 \times 10^9$ J.

B.2.9 L'essence est un mélange d'hydrocarbures. On peut, pour simplifier, l'assimiler à de l'octane.

Calculer le volume d'essence susceptible de libérer la quantité d'énergie déterminée à la question **B.2.8**.

B.3 On souhaite déterminer l'impact environnemental si l'hydrogène n'avait pas fait partie du projet.

Données :

- Masse molaire de l'octane : $M(C_8H_{18}) = 114 \text{ g.mol}^{-1}$;
- Masse molaire du dioxyde de carbone : $M(CO_2) = 44,0 \text{ g.mol}^{-1}$;
- 1 nœud = $1,85 \text{ km.h}^{-1}$.

On a montré dans la partie **B.2** que la quantité maximale de dihydrogène pouvant être stockée dans les réservoirs d'Energy Observer était équivalente à environ 250 L d'essence. Cette réserve lui confère une autonomie de navigation de cinq jours à une vitesse de 6,0 nœuds en moyenne.

Bilan carbone du bateau s'il avait consommé de l'essence à la place du dihydrogène.

B.3.1 Montrer que la quantité de matière d'octane contenue dans 250 L d'essence vaut environ $1,5 \times 10^3$ mol.

B.3.2 Compléter l'équation de combustion de l'octane sur le **document réponse DR2** de la **page 13**.

B.3.3 En utilisant l'équation de combustion, montrer que la quantité de matière de dioxyde de carbone émise par la combustion des 250 L d'essence vaut environ $1,2 \times 10^4$ mol.

B.3.4 En déduire la masse de dioxyde de carbone rejetée.

B.3.5 En déduire le bilan carbone, exprimé en grammes de dioxyde de carbone émis par km parcouru (g/km), si le bateau avait réellement consommé de l'essence.

PARTIE C – ENERGY OBSERVER FAIT DU KITE SURF !

La propulsion du bateau est assurée par deux moteurs électriques d'une puissance de 45 kW, chacun avec une vitesse de rotation pouvant aller jusqu'à 3 000 tr.min⁻¹. Une particularité de ce bateau est la présence à bord d'une voile de kite surf de 50 m² dont l'un des objectifs est de pouvoir augmenter la force de traction lors des grandes traversées.

Données :

- Masse de l'Energy Observer : $M = 33 \text{ t}$
- $1 \text{ t} = 1\,000 \text{ kg}$
- Intensité de pesanteur : $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$
- Théorème de l'énergie cinétique : $E_{c2} - E_{c1} = W_{(F_{ext})}$;
avec E_{c2} et E_{c1} les énergies cinétiques en J
 $W_{(F_{ext})}$ le travail total des forces extérieures en J
- Force de résistance aérodynamique : $F_{rés} = \frac{1}{2} \rho_a \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$
avec $F_{rés}$ en N ; ρ_a masse volumique du fluide en kg.m^{-3} ; S section frontale du solide en m^2 ; C_x coefficient sans dimension et v vitesse du solide en m.s^{-1} .

C.1 Étude d'un capteur de vitesse

Au cours des déplacements, on peut contrôler la fréquence de rotation des moteurs à l'aide d'un dispositif utilisant un capteur optique, un phototransistor, dont le principe de fonctionnement est présenté au **document C1** de la **page 12**.

C.1.1 Quelles sont les grandeurs d'entrée et de sortie du capteur utilisé ?

C.1.2 À l'aide du **document C2** de la **page 12** et en expliquant la démarche, déterminer la fréquence de rotation du moteur en Hz puis en tr.min⁻¹.

C.1.3 L'exploitation des informations données dans le **document C3** de la **page 12** confirme-t-elle la fréquence trouvée à la question précédente. Justifier.

C.1.4 Quelle est la valeur de la fréquence du second pic de l'analyse spectrale ? À quelle harmonique correspond-elle ? Justifier.

C.2 Energy Observer prend de la vitesse

Lors de ses déplacements, Energy Observer est soumis à quatre forces : son poids \vec{P} , la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}_A$, les forces de frottements (air et eau) notées globalement \vec{f} et la force motrice \vec{F}_m . Lorsque son rythme de croisière est atteint, le bateau se déplace alors à vitesse constante de 11,1 km.h⁻¹.

C.2.1 À l'aide des données, calculer le poids d'Energy Observer.

C.2.2 Sans calcul, montrer que la valeur de la poussée d'Archimède vaut $3,2 \times 10^5$ N. Justifier.

C.2.3 En supposant que la trajectoire du bateau est rectiligne uniforme, que peut-on dire de la résultante des forces qui s'exerce sur le bateau ? Justifier.

L'équipage aimerait maintenant augmenter la vitesse d'Energy Observer sans puiser dans les réserves d'énergie. Il décide alors de se servir de l'aile géante de kite surf. Compte tenu de la force du vent à ce moment-là, la voile exerce une force de traction, T , dont la composante horizontale, dans la direction du mouvement, vaut 750 N. On souhaite connaître la vitesse que peut atteindre le bateau lorsque la voile fournit un effort sur une distance, D , de 150 m.

Pour simplifier la suite de l'étude, on considèrera que la force de traction et que les forces de frottements restent constantes au cours de l'accélération.

C.2.4 À partir de vos connaissances, justifier que le travail du poids ainsi que celui de la poussée d'Archimède sont nuls.

C.2.5 Sans calcul, montrer que la somme des travaux des forces horizontales, \vec{f} et \vec{F}_m , est nulle.

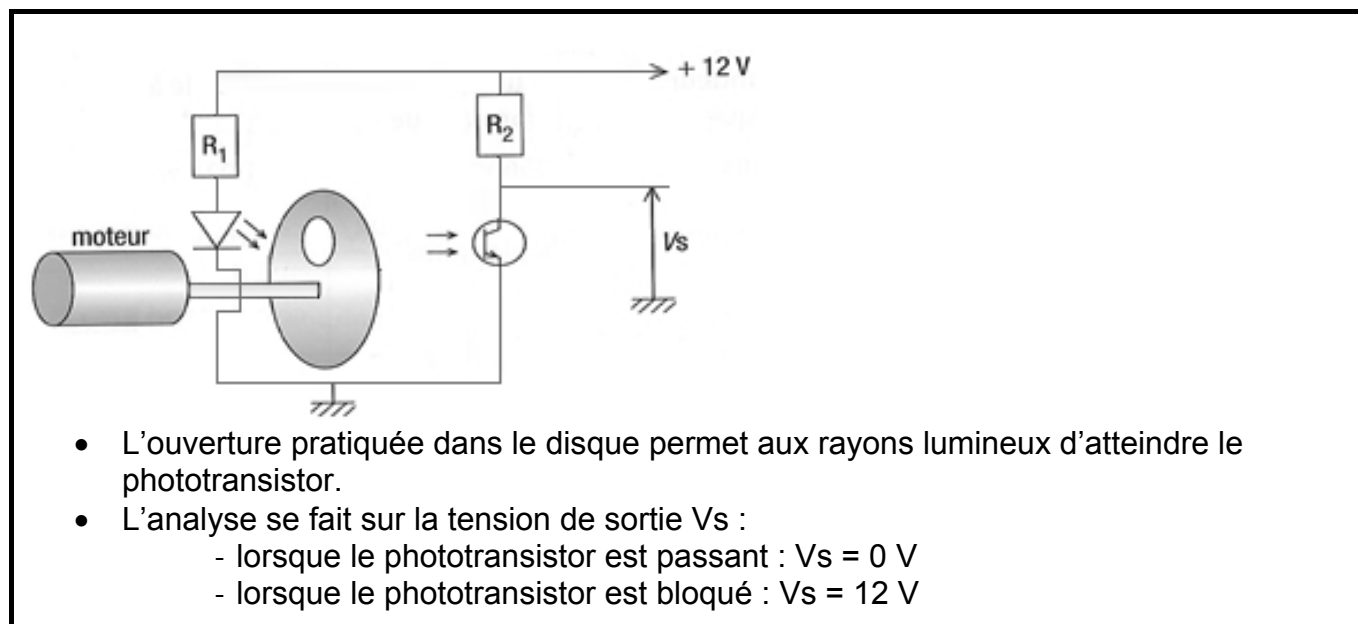
C.2.6 Exprimer puis calculer le travail de T pendant les 150 premiers mètres.

C.2.7 En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, montrer que la vitesse atteinte par Energy Observer après 150 m de traction par la voile est de 14,5 km.h⁻¹.

C.2.8 La vitesse mesurée après 150 m de traction est, en fait, inférieure à celle trouvée à la question **C.2.7**. Expliquer cette différence.

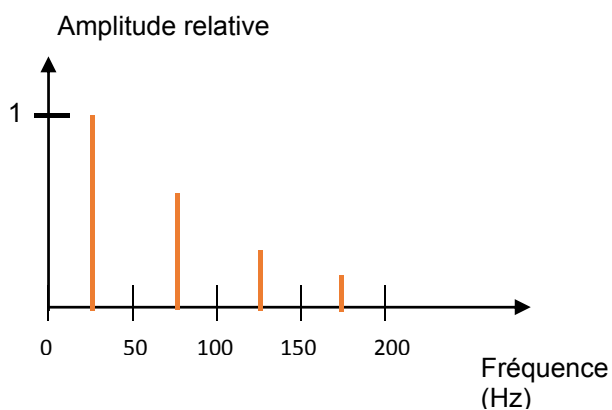
PARTIE C : DOCUMENTS ANNEXES

Document C1 : schéma de fonctionnement du dispositif mesurant la fréquence de rotation des moteurs

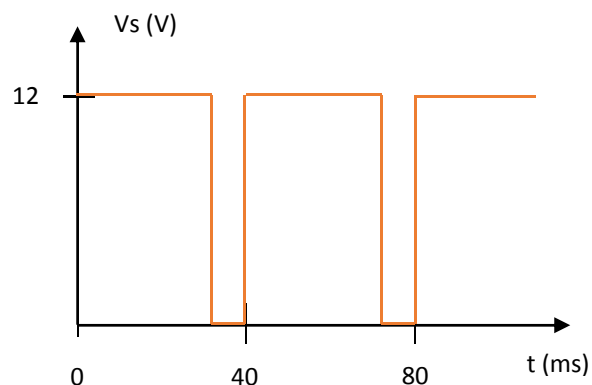


D'après : Delagrave, Terminale STI2D, Physique Chimie

Document C2 : analyse spectrale du signal à la sortie du capteur optique



Document C3 : signal à la sortie du capteur optique



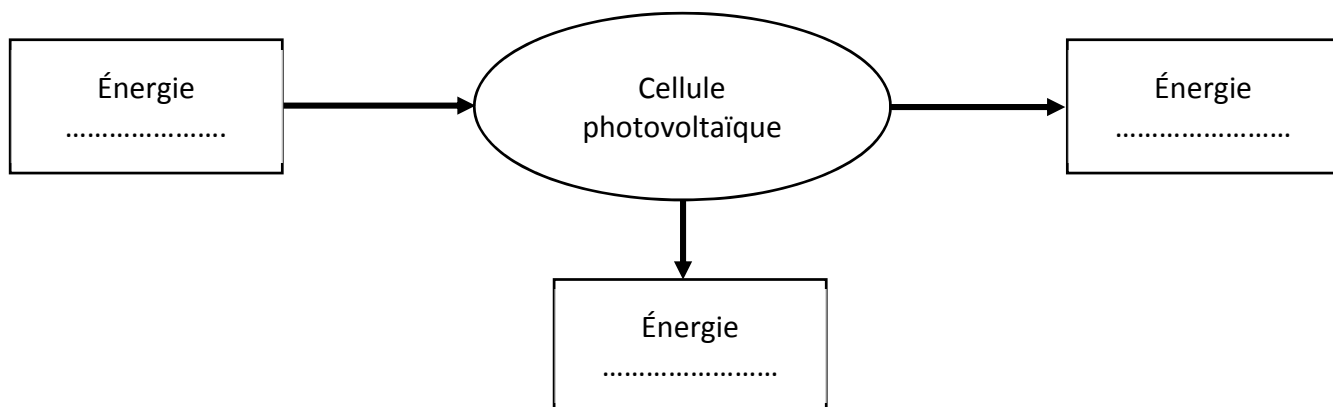
Document C4 : analyse spectrale d'un signal

- Tout signal périodique de fréquence f peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquence $f, 2f, 3f...$
- La fréquence de l'harmonique de rang n est donnée par la relation : $f_n = n \times f_1$

Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée

(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

Document réponse DR1 (question A.3.1)



Document réponse DR2 (question B.3.2)

