

SESSION 2015

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

PHYSIQUE-CHIMIE

Sciences et Technologies de Laboratoire

Spécialité Biotechnologies

Temps alloué : 3 heures

Coefficient : 4

La calculatrice (conforme à la circulaire N° 99-186 du 16-11-99) est autorisée.

**Ce sujet comporte 14 pages.
Les pages 13/14 et 14/14 sont à rendre avec la copie.**

NAVIGUER À LA VOILE

« *Un bateau, c'est ça tu vois. C'est pas juste une quille, une coque, un pont et des voiles. Ça ils l'ont tous, mais un vrai navire, comme la Perle Noire, en réalité... c'est la liberté.* »

(Capitaine) Jack Sparrow

Le temps des pirates est bien loin, et de nos jours l'équipement d'un bateau à voile va effectivement au-delà de la description ci-dessus. Panneaux solaires, éoliennes, GPS, pilote automatique, radar... Autant de systèmes qui assurent, loin des côtes, l'*autonomie énergétique* d'un voilier ainsi que la *sécurité* à son bord. Ce sujet se propose d'étudier, à travers quelques exemples, ces deux aspects de la navigation à la voile.

Le sujet est composé de quatre parties (A, B, C et D), indépendantes entre elles. Des annexes (A1, A2, ...) se situent après chaque partie et doivent être consultées afin de répondre à certaines questions. En fin de sujet, trois documents réponses (DR1, DR2 et DR3) sont à compléter et **à rendre avec la copie**.

- **Partie A : bilan énergétique d'un voilier et choix d'un « mix » énergétique (3 points)**
- **Partie B : l'hydrogénérateur pour produire de l'énergie (5,25 points)**
- **Partie C : le dessalement de l'eau de mer (6,25 points)**
- **Partie D : le radar (5,5 points)**

Partie A : bilan énergétique d'un voilier et choix d'un « mix » énergétique (3 points)

A.1. Le document A1, présenté en annexe A page 3, montre un bilan énergétique effectué sur un voilier de 11 m. Il a été réalisé pendant une durée de 24 h pour tenir compte du fait que les besoins énergétiques d'un bateau diffèrent selon qu'il navigue de jour ou de nuit.

A.1.1. D'après ce document, quel est parmi les quatre pôles de consommation évoqués celui qui consomme le plus d'énergie ? Donner la valeur de l'énergie consommée correspondante.

A.1.2. Rappeler la relation existant entre les grandeurs suivantes : puissance P , énergie E mise en jeu durant Δt .

A.1.3. L'énergie totale utilisée par le voilier sur une durée de 24 h est de 2397 W.h. En déduire la puissance moyenne consommée durant cette durée.

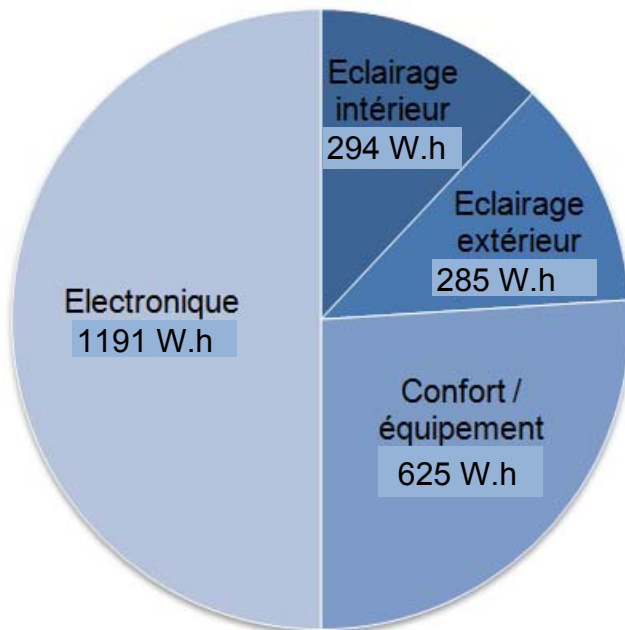
Pour assurer la production de l'énergie évoquée ci-dessus, on peut équiper un bateau d'un certain nombre de dispositifs embarqués. Nous nous restreindrons ici à ceux qui tirent parti de sources d'énergie renouvelables (voir document A2 page 3) :

- les *panneaux solaires* (panneaux photovoltaïques) ;
- les *aérogénérateurs* (éoliennes) ;
- les *hydrogénérateurs*, qui fonctionnent comme les éoliennes, mais avec une hélice plongée dans l'eau, qui tourne lorsque le bateau avance.

En règle générale, on équipe un voilier de plusieurs systèmes pour bénéficier des avantages de chacun. Le choix de ces systèmes, que l'on peut qualifier de « mix » énergétique, s'effectue en tenant compte du projet de navigation.

A.2. À l'aide du document A2, compléter le **document réponse DR1 page 13 à rendre avec la copie**. Justifier succinctement vos choix sur le même document.

Annexe A



Détails des quatre pôles de consommation :

Éclairage intérieur : nécessaire pour éclairer l'intérieur du voilier la nuit (cabines, carré central...).

Éclairage extérieur : feux de route, lumières sur le pont.

Confort / équipement : réfrigérateur, pompe d'eau douce...

Électronique : ordinateur, GPS, pilote automatique, anémomètre, sondeur... (radar exclu).

Énergie totale consommée en 24 h : **2395 W.h.**

A1 - Bilan énergétique réalisé sur un voilier de 11 m, en navigation, sur une durée de 24 h. L'énergie consommée dans chaque pôle est indiquée entre parenthèses (source : www.seatronic.fr)

	Panneau solaire	Aérogénérateur	Hydrogénérateur
+	<ul style="list-style-type: none"> • fiable • silencieux • produit de l'électricité même à l'arrêt du bateau 	<ul style="list-style-type: none"> • assez bon rendement • peu coûteux • produit de l'électricité à l'arrêt s'il y a du vent 	<ul style="list-style-type: none"> • silencieux • bon rendement • fonctionne quelle que soit l'orientation du vent
-	<ul style="list-style-type: none"> • production faible • encombrement • dépendant de la météo 	<ul style="list-style-type: none"> • bruits et vibrations • inefficace lorsque le bateau avance par vent venant de l'arrière • dépendant de la météo 	<ul style="list-style-type: none"> • ne produit pas d'électricité lorsque le bateau est à l'arrêt • coût assez élevé • ralentit légèrement le bateau

A2 - Avantages (+) et inconvénients (-) de différents systèmes de production d'énergie à bord d'un voilier (source : www.ac-clermont.fr)

Partie B : l'hydrogénérateur pour produire de l'énergie (5,25 points)

Dans cette partie on suppose que le projet de navigation est de réaliser une traversée de l'océan Atlantique à la voile. Pour produire de l'énergie à bord du bateau, on décide de l'équiper d'un hydrogénérateur, un dispositif récent, de plus en plus utilisé sur les bateaux de course, comme par exemple durant le dernier *Vendée Globe* (course autour du monde en solitaire et sans escale).

B.1. À l'aide des documents B1 et B2 présentés en annexe B page 6, compléter sur **le document réponse DR2 page 13 à rendre avec la copie** le diagramme énergétique d'un hydrogénérateur avec trois expressions à choisir parmi les suivantes : *énergie thermique* ; *énergie lumineuse* ; *énergie chimique* ; *énergie électrique* ; *énergie mécanique*.

B.2. La courbe du document B3 présenté en annexe page 6 représente la puissance électrique fournie par un certain modèle d'hydrogénérateur en fonction de la vitesse du bateau. Celle-ci est indiquée en nœuds ($1 \text{ nœud} = 1,852 \text{ km.h}^{-1}$).

B.2.1. D'après ce document, à partir de quelle vitesse du bateau, en nœuds, l'hydrogénérateur commence-t-il à fournir de la puissance électrique ?

B.2.2. Quelle est la puissance maximale fournie par l'hydrogénérateur, toujours d'après ce document ?

En comparant la puissance que peut fournir un hydrogénérateur et la puissance que consomme en moyenne le bateau, on pourrait penser qu'un hydrogénérateur peut couvrir l'ensemble des besoins énergétiques, mais ce n'est pas le cas. En effet, l'hydrogénérateur ne produit pas forcément de l'énergie au même « rythme » que le bateau en consomme (exemples : le bateau consomme plus la nuit ; l'hydrogénérateur produit très peu quand le bateau avance doucement). Pour pallier cette difficulté, il est nécessaire de stocker l'énergie produite.

B.3. Pour ce faire, le bateau sera équipé de 4 batteries identiques, ayant les caractéristiques suivantes :

- capacité (quantité d'électricité disponible) : $Q = 105 \text{ A.h}$;
- tension nominale : $U = 12 \text{ V}$.

B.3.1. L'énergie E que peut stocker une batterie s'exprime en fonction de sa capacité Q et de sa tension nominale U selon la relation $E = Q \times U$. Sachant que $1 \text{ A.h} = 3600 \text{ C}$, montrer que l'énergie stockée par une seule batterie est de $4,5 \text{ MJ}$.

B.3.2. En déduire l'énergie totale E_{tot} stockée par l'ensemble des batteries.

B.3.3. On estime à 6 nœuds la vitesse moyenne du bateau pendant la traversée. En utilisant cette valeur et le document B3, déterminer la puissance électrique moyenne P_{moy} que pourra alors délivrer l'hydrogénérateur.

B.3.4. À l'aide des deux questions précédentes, et en expliquant le raisonnement, estimer la durée Δt nécessaire à la charge complète de l'ensemble des batteries. On supposera qu'elles sont au départ complètement déchargées et qu'on ne fait que les charger, sans perte d'énergie. Exprimer le résultat en heure.

B.3.5. En comparant la valeur trouvée à la question B.3.4 à la durée de la traversée qui est de l'ordre de trois semaines, indiquer si cette durée de charge paraît acceptable pour le projet envisagé.

Concentrons-nous maintenant sur l'aspect « mécanique » de l'utilisation d'un hydrogénérateur. Il est en effet indiqué dans le document B1 qu'un hydrogénérateur peut « ralentir » le bateau. Le but de ce qui suit est de caractériser la force associée à ce phénomène.

B.4. Lorsqu'il se trouve en position immergée et quand le bateau avance, l'hydrogénérateur subit une force de frottement fluide due à l'écoulement de l'eau. Elle est de même nature que la force de résistance aérodynamique d'un véhicule qui se déplacerait dans l'air (seul le milieu change).

B.4.1. En faisant appel à vos connaissances, choisir parmi les propositions suivantes celle qui modélise le mieux l'intensité de la force de résistance hydrodynamique exercée sur l'hydrogénérateur :

a. $F_R = \frac{a}{v^2}$

b. $F_R = \frac{a}{v}$

c. $F_R = a \cdot v^2$

d. $F_R = a \cdot \sqrt{v}$

avec a , une constante dépendant des caractéristiques de l'hydrogénérateur et v , la vitesse de l'écoulement de l'eau par rapport au bateau (ou de manière équivalente la vitesse du bateau par rapport à l'eau).

B.4.2. Parmi les paramètres suivants, lequel (ou lesquels), d'après vos connaissances, a (ont) une influence sur l'intensité de la force de résistance hydrodynamique ?

a. la forme de l'hydrogénérateur ;

b. sa masse ;

c. sa section frontale (surface maximum perpendiculaire à l'écoulement de l'eau) ;

d. sa température.

Les calculs des ordres de grandeur peuvent montrer que, pour le voilier considéré, la force de résistance hydrodynamique exercée sur l'hydrogénérateur est, en intensité, 20 fois plus petite que la force exercée par l'air sur la grande voile du bateau. Nous noterons cette dernière \vec{F}_p (force de poussée).

B.4.3. À l'aide de cette information et de vos connaissances, dessiner sur **le document réponse DR3 page 14 à rendre avec la copie** le vecteur-force \vec{F}_R représentant la force de résistance hydrodynamique exercée sur l'hydrogénérateur. Le point d'application est indiqué sur le schéma, il s'agit du point A. Respecter l'échelle déterminée par le vecteur force \vec{F}_p .

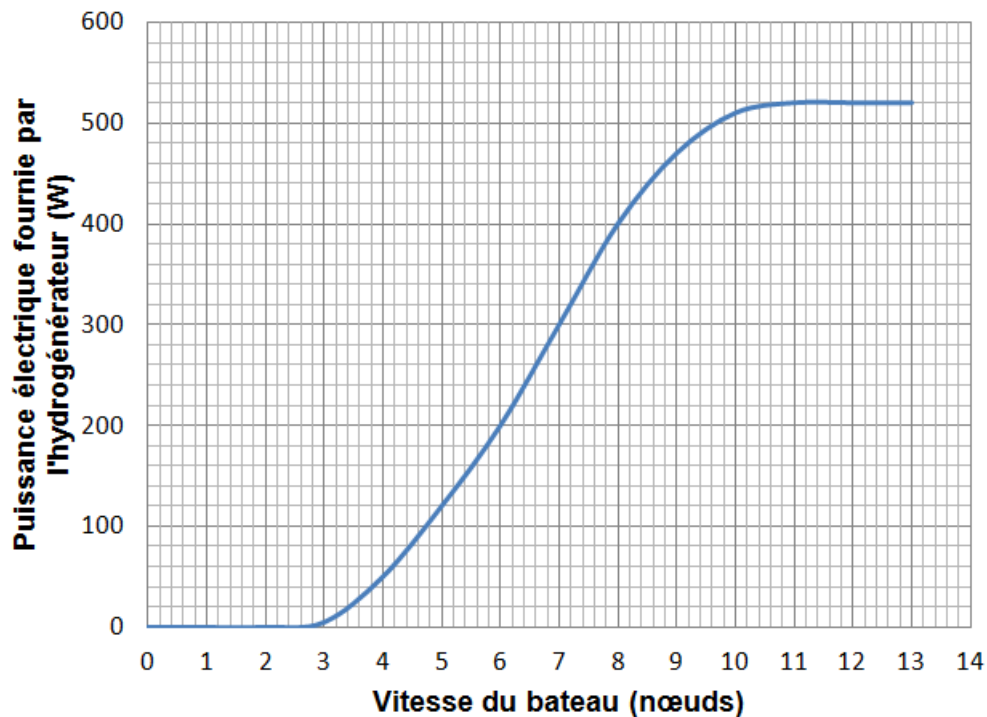
Annexe B

Il s'agit d'un appareil qui sert à produire de l'électricité et qui fonctionne suivant un principe très proche de celui d'une éolienne. Il est installé à l'arrière du bateau et est constitué d'un support au bout duquel se trouve une hélice reliée à un alternateur. Une fois dans l'eau, cette hélice tourne grâce au mouvement du bateau. Lorsqu'il ne s'en sert pas, le navigateur peut remonter l'hydrogénérateur et le maintenir hors de l'eau afin de le préserver et de ne pas ralentir son bateau.

B1 - Qu'est-ce-qu'un hydrogénérateur ? (source : www.vendeeglobe.org)



B2 – Exemple d'hydrogénérateur (photographie : www.cristec.fr)



B3 - Caractéristique puissance - vitesse d'un hydrogénérateur (source : www.wattandsea.com)

Partie C : le dessalement de l'eau de mer (6,25 points)

Dessaler l'eau de mer consiste à en retirer le sel (chlorure de sodium) dissous pour la rendre potable. Dans de graves cas d'accidents en mer, cette opération peut s'avérer vitale. Le modèle que nous allons étudier (voir le document C3 page 9) prend peu de place et s'actionne manuellement ; il peut donc servir même lors d'une panne électrique.

C.1. Le procédé de dessalement nécessite de générer une pression très élevée au sein de l'eau de mer. Dans ce qui suit, nous nous proposons de faire une analogie pour illustrer cela.

C.1.1. D'après le document C1 page 9, quelle doit être la pression de l'eau de mer à atteindre pour faire fonctionner le dessalinisateur ? Convertir cette valeur en pascals.

Donnée : 1 bar = 10^5 Pa

C.1.2. En vous référant à la situation du schéma de l'annexe C2 page 9, donner la relation du principe fondamental de l'hydrostatique en précisant les notations choisies.

C.1.3. À l'aide de ce principe, montrer que la pression dans l'océan à 530 m de profondeur est équivalente à la pression générée par la pompe du dessalinisateur (pression déterminée à la question C.1.1.).

Données : $P_A = 1,0 \times 10^5$ Pa $\rho = 1040$ kg.m⁻³ $g = 9,8$ m.s⁻²

C.2. En utilisant vos connaissances et le contexte de cette partie, justifier le choix d'un acier inoxydable parmi les matériaux constituant le dessalinisateur.

C.3. Dans cette question, nous cherchons à vérifier si l'eau traitée est effectivement potable.

C.3.1. D'après le document C3, quel est le pourcentage de dessalement de l'eau annoncé ? En déduire le pourcentage de sel restant dans l'eau une fois traitée par ce système.

C.3.2. La concentration massique en sel de l'eau de mer est d'environ 35 g.L⁻¹. À l'aide de la question précédente, calculer la concentration massique en sel de l'eau après traitement.

C.3.3. Le code de la santé publique réglemente la concentration en ions sodium et chlorure de l'eau destinée à la consommation humaine. Il en résulte qu'une eau dont la concentration en sel est supérieure à 410 mg.L⁻¹ est impropre à la consommation quotidienne.

L'eau dessalinisée peut-elle être consommée quotidiennement ?

Existe-t-il une situation qui pourrait nécessiter la consommation de cette eau ? Argumenter vos réponses.

C.4. Dans cette question nous étudions le débit du système et faisons le lien avec la durée de dessalement.

C.4.1. D'après le document C3, quelle est la valeur du débit D de l'eau qui est traitée ? Est-ce un débit volumique ou massique ?

C.4.2. En tenant compte de l'incertitude associée au débit D (voir document C3), donner un encadrement de la grandeur D . Détailler votre démarche.

C.4.3. Grâce à la valeur du débit déterminé dans la question C.4.1., calculer la durée nécessaire pour dessaler 3,0 L d'eau de mer (l'équivalent de ce que boivent deux personnes en une journée).

Annexe C

Une membrane semi-perméable située à l'intérieur de l'appareil agit comme un filtre moléculaire. Lorsque de l'eau de mer atteint une pression de 55 bars sous l'action de la pompe, elle est comprimée contre la membrane, et seules les molécules d'eau peuvent passer, le sel dissous ne peut pas traverser et est rejeté hors du système.

C1 - Principe de fonctionnement du dessalinisateur
(source : <http://www.katadyn.com>)

Atmosphère



C2 - Schéma de référence pour le principe fondamental de l'hydrostatique

Technologie : Osmose inversée
 Dessalement : 98,4 % en moyenne. Le taux de dessalement dépend de différents facteurs d'influence comme la pression, le débit ou la qualité de l'eau.
 Débit : 0,89 L/h \pm 15 %
 Poids : 1,13 kg
 Dimensions : 12,7 x 20,3 x 6,4 cm
 Matériaux : Acier inoxydable, matières synthétiques. Membrane approuvée par la FDA américaine (Food and Drug Administration)



C3 - Caractéristiques du dessalinisateur manuel *Survivor*® 06, le « plus petit du monde » selon son fabricant
(source : <http://www.katadyn.com>)

Partie D : le radar (5,5 points)

Cette partie est consacrée au radar, élément essentiel de sécurité à bord d'un bateau. Nous en aborderons quelques principes ainsi que des aspects pratiques d'utilisation.

D.1. À l'aide du document D1 présenté en annexe D page 11, citer une situation de navigation pour laquelle l'utilisation d'un radar est indiquée.

D.2. D'après le même document, sur quel phénomène physique est basé le principe de la détection radar : la *réflexion*, l'*absorption* ou la *transmission* des ondes électromagnétiques ?

D.3. Le texte évoque la fréquence et la longueur d'onde de l'onde électromagnétique émise par le radar.

D.3.1. Le document D2 page 12 présente un extrait de la brochure commerciale d'un radar de la marque Furuno®. D'après ce document, quelle est la fréquence utilisée ?

D.3.2. Préciser, à l'aide du document D3 page 12, dans quel domaine du spectre électromagnétique se situent ces ondes.

D.3.3. Énoncer la définition de la longueur d'onde d'une onde électromagnétique.

D.3.4. Donner la relation entre la célérité c d'une onde électromagnétique, sa longueur d'onde dans le vide λ et sa fréquence f . Préciser l'unité de chaque grandeur.

D.3.5. La vitesse dans l'air des ondes électromagnétiques vaut $3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. À l'aide des réponses aux questions D.3.1. et D.3.4., montrer que la longueur d'onde des ondes émises par le radar est de 3,2 cm.

D.3.6. En argumentant votre réponse à l'aide du document D1, indiquer s'il est possible de détecter, grâce au radar, la présence d'un bateau de longueur 10 m.

On s'intéresse à présent à l'utilisation du radar en navigation. L'écran de contrôle est « rafraîchi » périodiquement, c'est-à-dire qu'il change ce qu'il affiche dès que l'antenne a décrit un tour complet sur elle-même.

D.4. La vitesse de rotation de l'antenne peut être fixée à 24, 31 ou 41 tours.min⁻¹. Parmi ces valeurs, quelle est celle qu'un navigateur devrait choisir s'il souhaite un rafraîchissement de l'écran toutes les 1,5 secondes environ ? Justifier votre réponse.

Le radar est un système qui consomme beaucoup d'énergie. C'est pourquoi on peut le mettre en « veille » en arrêtant momentanément l'émission des ondes. Dans ce cas, pour continuer tout de même à assurer la sécurité à bord, on peut le régler pour qu'il s'allume à intervalles de temps réguliers, et émette des ondes pendant une minute avant de se remettre en veille. Si une cible est détectée pendant cette minute appelée « tour d'horizon », une alarme se déclenche et le radar repasse en mode normal.

Plaçons-nous dans la situation suivante : de nuit, le voilier est quasiment à l'arrêt sur l'eau car il n'y a pas de vent. Il se trouve dans une zone de pêche où il peut croiser des chalutiers avançant à 10 nœuds ($18,5 \text{ km.h}^{-1}$) au maximum. Le navigateur (en solitaire) souhaite dormir un peu.

D.5. En expliquant votre raisonnement (éventuellement en y incorporant un schéma), déterminer quel intervalle de temps le navigateur doit choisir entre deux tours d'horizon du radar pour avoir le temps de réagir avant que le chalutier ne le percute.

Données :

- les valeurs possibles d'intervalle de temps sont : 5, 10 ou 20 minutes ;
- le radar est capable de détecter des cibles jusqu'à 5,0 km de distance.

Annexe D

Un radar de navigation pour bateau est un système qui permet de déterminer la présence et la position d'obstacles potentiellement dangereux à la surface de la mer (bateau à voile ou à moteur, ferry, cargo, objet flottant...). Il s'agit donc d'un dispositif de sécurité très important pour éviter une collision, notamment lorsqu'il fait nuit, par temps de brouillard, ou quand un navigateur en solitaire doit se reposer.

Le principe de fonctionnement est le suivant : une antenne émet des ondes électromagnétiques. Si un obstacle se trouve sur le trajet de ces ondes, celles-ci seront réfléchies et les ondes de retour pourront être captées par un récepteur. L'antenne doit bien entendu tourner en permanence sur elle-même pour couvrir toutes les directions possibles à 360° . La distance et la position de l'objet détecté sont calculées grâce au temps d'aller-retour du signal et à la position angulaire de l'antenne.

Un radar peut repérer des objets ayant une large gamme de propriétés réfléchies, alors que les autres types de signaux, tels que le son ou la lumière visible, revenant de ces objets, auraient une amplitude trop faible pour être détectés. De plus, les ondes utilisées peuvent se propager avec une faible atténuation à travers l'air et divers obstacles, tels que les nuages, le brouillard ou la fumée, qui absorbent rapidement un signal lumineux.

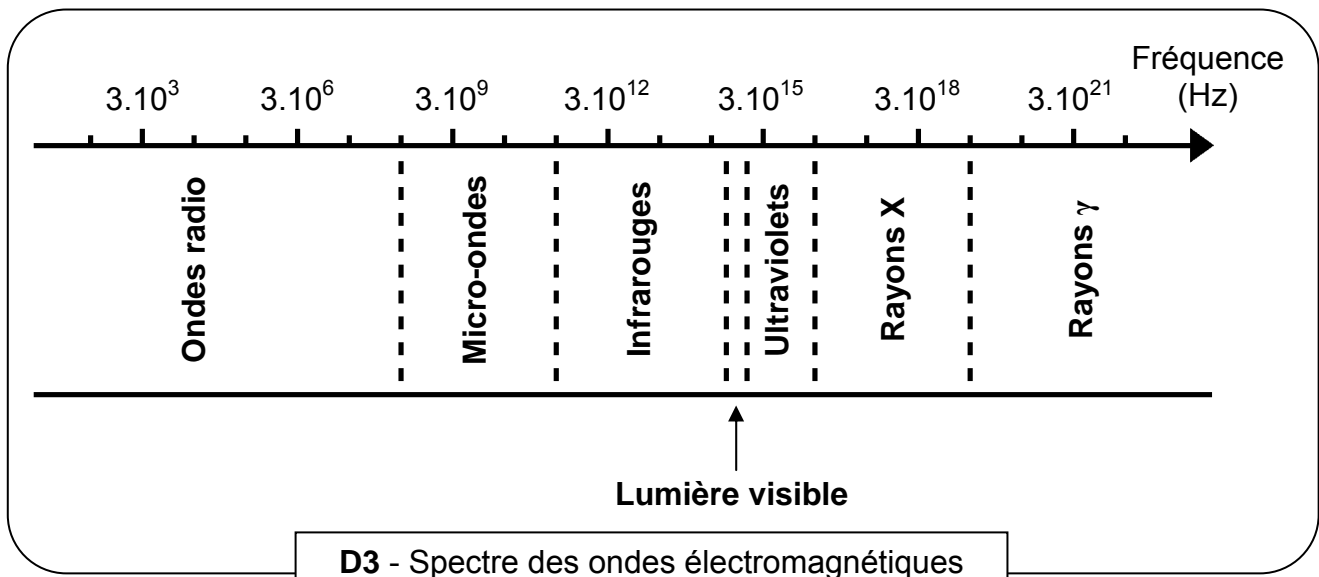
D'après ce qui précède, le choix de la fréquence des ondes émises par le radar a donc de l'importance. Il dépend du type d'objets que l'on souhaite détecter : seuls les objets dont la taille caractéristique est supérieure ou égale à l'ordre de grandeur de la longueur d'onde seront « visibles ».



D1 - Principe du radar de navigation (Texte adapté de Wikipedia ; image : www.furuno.fr)

Antenne	
Type radiateur dans boîtier cylindrique de diamètre 38 cm.	
Vitesses de rotation possibles	41 tours / min 31 tours / min 24 tours / min
Emetteur / récepteur	
Fréquence	9410 +/- 30 MHz
Puissance nominale	2,2 kW
Indicateur	
Ecran LCD 6 pouces monochrome, 4 niveaux de gris, 240 x 320 pixels (90 mm x 120 mm)	

D2 - Extrait de la notice commerciale du radar Furuno® M1623



D3 - Spectre des ondes électromagnétiques

DOCUMENT RÉPONSE

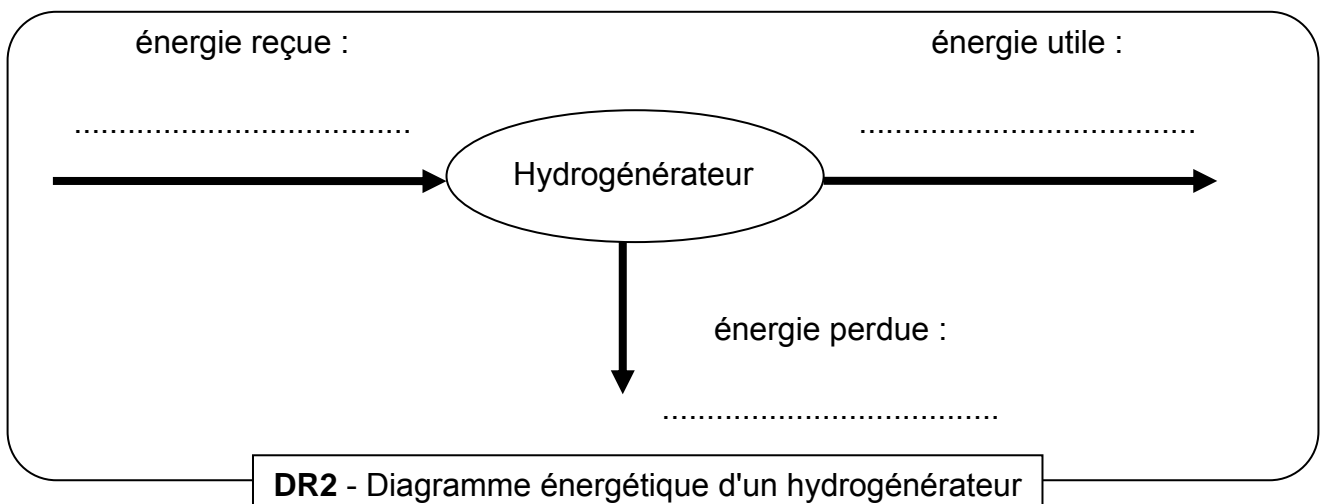
À RENDRE AVEC LA COPIE

Pour chaque projet, il est demandé de choisir (en plaçant des croix) deux systèmes de production d'énergie parmi les trois possibles. En tout dans le tableau, quatre croix devront donc apparaître.

	Systèmes de production		
	Panneau solaire	Aérogénérateur	Hydrogénérateur
<i>Projet n°1</i> Traversée de l'océan Atlantique d'est en ouest, majoritairement par vent venant de l'arrière.			
<i>Projet n°2</i> Croisière près des côtes. Petites étapes de navigation. Chaque nuit sera passée dans un port ou à l'abri dans une crique.			

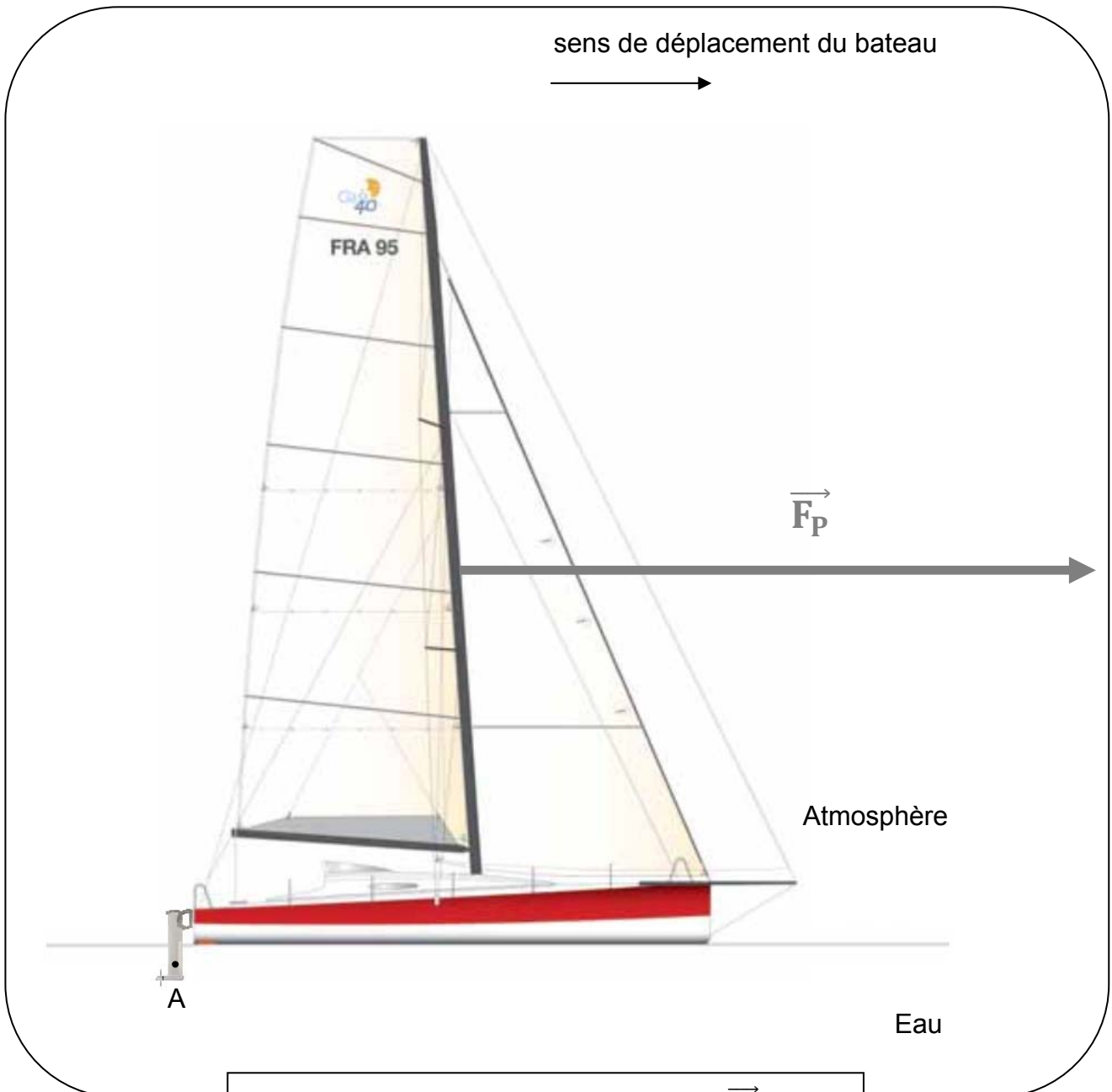
Justifier ci-dessous vos choix pour chacun des projets :

DR1 - Choix du mix énergétique selon le projet



DR2 - Diagramme énergétique d'un hydrogénérateur

DOCUMENT RÉPONSE
À RENDRE AVEC LA COPIE



DR3 - Schéma des forces de poussée \vec{F}_P et de résistance hydrodynamique \vec{F}_R exercée sur l'hydrogénérateur (image : www.pogostructures.com)