

TRAVAIL À RÉALISER PAR LE CANDIDAT

Partie A L'énergie électrique produite par le voilier

L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du voilier (pilote automatique, dessalinisateur, instruments de navigation...) est produite par 2 hydrogénérateurs, 2 éoliennes et des panneaux photovoltaïques (Document 1.a). Lors du dernier Vendée Globe l'énergie produite par le voilier a toujours été supérieure à l'énergie consommée.

A.1 L'énergie photovoltaïque - Etude de la cellule, rendement

A.1.1 L'effet photoélectrique a été découvert par hasard en 1886 par Hertz lors de ses recherches sur les ondes électromagnétiques. Il a découvert alors qu'un matériau métallique exposé à la lumière pouvait émettre des électrons. Cette découverte a longtemps opposé les scientifiques de l'époque car certaines caractéristiques de cet effet ne s'expliquaient pas avec la théorie classique de l'électromagnétisme telle qu'ils la connaissaient à l'époque.

La théorie ondulatoire de la lumière expliquait en partie le phénomène mais il fallut attendre 1905 et la théorie de la quantification de l'énergie électromagnétique (Albert EINSTEIN) pour expliquer cet effet photo-électrique.

Au 17^{ème} siècle déjà, deux éminents scientifiques, Newton et Huygens, s'opposaient au travers de traités et d'expériences sur la nature de la lumière. L'un défendait la nature corpusculaire et l'autre la nature ondulatoire de la lumière. Expliquer en langage simple ces deux théories et discuter de l'intérêt de présenter aux élèves cette polémique.

A.1.2 Les caractéristiques des panneaux photovoltaïques sont établies dans des conditions de test normalisées. La température et la puissance du rayonnement sont fixées et le spectre correspondant est donné dans le Document 1.c .

L'énergie minimale du photon permettant de libérer un électron dans un semi-conducteur à silicium est égale à 1,1eV.

On donne $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s, $c = 3,0 \cdot 10^8$ m.s⁻¹ et $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J.

Déterminer la longueur d'onde correspondante.

Dans les conditions du test, le spectre de la lumière reçue par le panneau est celui du Document 1.c. Indiquer si tous les photons sont convertis en électrons. Justifier.

A.1.3 Chaque panneau est constitué d'un certain nombre de cellules photovoltaïques élémentaires. Déterminer la puissance solaire reçue par une cellule et la puissance électrique maximale correspondante sachant que dans les conditions du test, l'éclairement énergétique est égal à 800 W.m^{-2} . En déduire le rendement de la cellule dans les conditions du test du Document 1.b.

Proposer une explication pour justifier le faible rendement de la cellule.

On supposera par la suite que le rendement est indépendant de la puissance solaire reçue.

A.1.4 A l'aide du Document 1.b , déterminer la tension de polarisation optimale de chaque cellule permettant au panneau de produire une puissance électrique maximale. Expliquer la manière dont les cellules sont associées entre elles et déterminer la puissance produite par le panneau dans les mêmes conditions de test.

A.1.5 Dans les meilleures conditions d'ensoleillement, l'énergie solaire absorbée par les panneaux sur une journée est égale à 3520 Wh / m^2 , alors que l'énergie solaire absorbée le jour du départ aux Sables d'Olonne n'est que de 1530 Wh / m^2 .

Expliquer la différence d'énergie absorbée dans ces deux situations.

A.1.6 Dans les meilleures conditions les panneaux ont produit 9 kWh d'énergie électrique stockée dans les batteries en une journée.

Montrer que l'aire de la surface du bateau recouverte par les panneaux photovoltaïques est d'environ 13 m^2 .

A.2 L'hydrogénérateur

On s'intéresse dans cette partie à l'alternateur de l'hydrogénérateur.

A.2.1 Le Document 3.a est un extrait de manuel scolaire présentant un redressement double alternance réalisé avec un pont de diodes.

Dans ce Document 3.a, l'expression « un système redresseur est un convertisseur alternatif-continu » est-elle en adéquation avec l'oscillogramme représenté dessus ?

Justifier puis proposer une phrase de synthèse que l'on pourrait faire écrire aux élèves qui auraient réalisé l'expérience décrite dans ce document.

A.2.2 Un élève vous demande des explications sur le fonctionnement du pont de Graetz et les raisons de l'obtention d'un oscillogramme double alternance.

Comment procéderiez-vous pour faciliter sa compréhension du montage et des oscillogrammes obtenus ? (vous pouvez citer les expériences réalisées ou tout schéma sur lequel votre explication s'appuierait).

A.2.3 Compléter le montage proposé en Annexe 1 pour obtenir une tension continue ; préciser la nature des composants ajoutés et leur rôle.

Partie B Stockage de l'énergie

B.1 Les batteries

L'énergie produite est essentiellement stockée dans les batteries Lithium-Ion. Quelques accumulateurs au plomb sont utilisés pour les demandes en courant importantes.

B.1.1 Donner un avantage des batteries Li-ion par rapport aux batteries classiques au plomb. On attend une justification quantitative.

B.1.2 Les batteries Li-Ion sont assemblées par paires, chaque paire étant constituée de deux batteries associées en série.

Quelle est la tension aux bornes de chaque paire et la capacité nominale correspondante ?

B.1.3 Les besoins du bateau en énergie électrique sont estimés au maximum à 7200 Wh par jour.

En supposant que l'on ne puisse plus recharger les batteries par tous les dispositifs existants, calculer la durée d'autonomie de ce parc de batteries Li-ion composé de trois paires de batteries, en supposant que les batteries peuvent se décharger totalement

B.1.4 Proposer une exploitation des Document 3.b et Document 3.c pour entamer l'apprentissage de la connaissance du principe d'un accumulateur au plomb. On présentera dans un tableau

à trois colonnes, les tâches demandées aux élèves, leur activité attendue et les connaissances ou capacités du programme visées.

B.2 À propos du principe de fonctionnement de la pile à combustible

La pile à combustible est une source d'énergie de secours utilisée par le skipper du voilier « ACCIONA » dans le cas où les batteries au lithium seraient épuisées et sans aucune possibilité de les recharger par les énergies renouvelables (aérogénérateur, panneaux photovoltaïques, hydro-générateurs).

B.2.1 En vous appuyant sur le Document 1.f, expliquer, en quelques lignes, le principe de fonctionnement d'une telle pile. Indiquer quels sont les réactifs et le(s) produit(s) de la réaction qui a lieu au sein de la pile à combustible. Préciser la nature de la réaction ainsi que le rôle de l'électrolyte.

B.2.2 Ecrire les équations et le nom des réactions qui ont lieu à l'anode et à la cathode ainsi que l'équation bilan de fonctionnement de cette pile. On précisera alors sur le schéma de l'Annexe 2 le sens de circulation des porteurs de charge à l'intérieur de la pile et à l'extérieur ainsi que les polarités des électrodes.

B.2.3 Montrer la relation suivante reliant la quantité de matière de dihydrogène réellement consommé dans chaque cellule de la pile (n_c), l'intensité I débitée à pleine puissance et la durée Δt de fonctionnement d'une cellule élémentaire (identique à celle de la pile) :

$$n_c = \frac{I \times \Delta t}{2 \times N_A \times e}$$

B.2.4 Les cellules élémentaires sont connectées en parallèle d'un point de vue hydraulique.

La pile débite une puissance maximale pendant une durée de « 6h et 46 minutes ».

A l'aide du Document 1.h, déterminer l'expression de la quantité totale de dihydrogène totale notée $n_{\text{tot}}(\text{H}_2)$ effectivement consommée et en déduire la masse de dihydrogène correspondante lorsque la pile débite à la puissance maximale.

Comparer à la masse embarquée qui est de 1 kg. A l'aide du Document 1.f ou du Document 1.g, discuter de la cohérence de votre résultat.

On donne $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ et $M(\text{H}) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

B.2.5 Quels sont les risques en cas de surchauffe du système ?

B.2.6 Dans le cas de la pile à combustible étudiée, l'électrolyte est une fine membrane dont le rôle est d'isoler les électrodes l'une de l'autre, tout en laissant circuler les ions H^+ . Le matériau le plus utilisé est le Nafion®.

La molécule Nafion® est un polymère formé d'une colonne vertébrale ne contenant que des groupes CF_n sur laquelle sont fixés des groupements d'acide sulfonique.

La chaîne constituée des groupes CF_n est presque identique au Téflon qui est un polymère dont le monomère est le tétrafluoroéthène de formule brute C_2F_4 . La formule brute de l'acide sulfonique est H_2SO_3 .

Donner les configurations électroniques du carbone, du fluor, de l'hydrogène, du carbone, de l'oxygène et du soufre ($Z = 6$ pour le carbone, $Z = 9$ pour le fluor, $Z = 1$ pour l'hydrogène, $Z = 8$ pour l'oxygène et $Z = 16$ pour le soufre) et écrire les structures de Lewis du tétrafluoroéthène et de l'acide sulfonique.

- B.2.7 La molécule de Nafion® est amphiphile, c'est-à-dire qu'elle possède à la fois des groupements hydrophiles et hydrophobes. Indiquer sur le schéma de l'Annexe 3 la position de ces deux groupements. Justifier votre raisonnement.

B.3 Exercice sur la durée d'autonomie d'une pile à combustible - rendement

Dans le cadre des séquences d'enseignements généraux liés à la spécialité et de l'accompagnement personnalisé et en vue d'une préparation des élèves à une poursuite d'étude en BTS, les enseignants leur proposent de résoudre un exercice mettant en œuvre des notions vues en baccalauréat professionnel. L'énoncé de cet exercice est donné dans le Document 3.d. Les Document 1.d et Document 1.f peuvent aider à la résolution de certaines questions.

- B.3.1 Définir ce qu'est un gaz parfait.
- B.3.2 Rédiger une correction de l'exercice (Document 3.d) proposé aux élèves.
- B.3.3 Lors de la lecture de l'énoncé donné (Document 3.d), un élève de baccalauréat professionnel s'étonne : « Vous vous êtes trompé dans l'énoncé, ce serait pas plutôt une intensité de 0,75 A par cellule ? Sinon, si on prend un « coup » de jus, avec 52,5 A on est mort ! »
- Analyser les raisons de cette remarque et expliquer brièvement les conceptions mises en jeu au travers de celle-ci.
- B.3.4 Quelle(s) remédiation(s) proposeriez-vous pour le convaincre que les 70 cellules débitent un courant d'intensité 52,5 A.
- B.3.5 Comment traiteriez-vous sa remarque sur les dangers à manipuler une pile à combustible qui serait reliée à un circuit électrique ?
- B.3.6 Un kilogramme de dihydrogène peut libérer une énergie maximale de 120 MJ environ.
- Montrer que le rendement de la pile à combustible du Document 3.d est environ égal à 50 %. Préciser quelle est la nature de l'énergie convertie de nature non électrique.
- B.3.7 L'**essence** est utilisée comme carburant dans les moteurs thermiques ou les moteurs à combustion interne à allumage commandé. C'est un mélange d'hydrocarbures comprenant 20 à 30 % d'alcanes.
- Parmi les alcanes on trouve pour l'essence sans plomb 95, 95% d'octane (molécule de formule brute C_8H_{18}) et 5% d'heptane.
- Ecrire et équilibrer l'équation bilan de la combustion complète de l'octane dans l'air.
- B.3.8 Le rendement d'un tel moteur est de l'ordre de 25%. Le pouvoir calorifique moyen de l'essence est égal à $47,3 \text{ MJ.kg}^{-1}$. Calculer la masse d'essence qu'il faut brûler dans un moteur thermique pour libérer la même quantité d'énergie que la pile à combustible étudiée dans l'exercice du Document 3.d.

Partie C Stabilité et propulsion du voilier

C.1 Stabilité du voilier

Un bateau est à l'équilibre (Document 1.i) dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Le voilier est écarté de sa position d'équilibre en lui faisant effectuer un mouvement de gîte (rotation du bateau autour d'un axe longitudinal) par un moyen mécanique quelconque (vent, mer, etc...). On cherche à déterminer si le bateau revient à sa position d'équilibre stable lorsque la contrainte mécanique responsable de son inclinaison est relâchée.

Une courbe de stabilité, modélisée à partir de la position du centre de gravité du voilier (G) et des paramètres géométrique du bateau, permet de répondre à la question.

L'action du vent ne sera pas prise en compte.

- C.1.1 Effectuer un bilan des forces lorsque le bateau est dans sa position d'équilibre stable (Document 1.i). Préciser les caractéristiques de ces forces.
- C.1.2 On suppose que le bateau est dans la configuration hors équilibre (après avoir écarté le bateau de sa position d'équilibre, la contrainte est relâchée) qui correspond à celle du Document 1.j ; l'angle de gîte est égal à θ . Le bilan des forces étant identique à celui de la situation précédente, tracer, sur le schéma de l'Annexe 4, les vecteurs forces correspondants.
- Donner les expressions des moments de force de chaque force par rapport à l'axe (Δ) passant par le métacentre M, en fonction des paramètres suivants (m : masse du bateau, g : champ de pesanteur, d : longueur indiquée dans le Document 1.j). Le sens positif est par convention le sens trigonométrique.
- C.1.3 La somme vectorielle des forces précédentes est nulle. Comment expliqueriez-vous à des élèves qu'il s'agit tout de même d'une situation hors équilibre ?
- C.1.4 La courbe de stabilité du Document 1.k représente le moment du poids par rapport à l'axe (Δ) en fonction de l'angle de gîte (θ). L'angle de gîte nul correspond à une position d'équilibre stable.
- Déterminer graphiquement la valeur de l'angle de gîte θ_{AVS} correspondant à l'angle limite au-delà duquel le bateau chavire et préciser quel est l'intervalle des angles de gîte pour lesquels le voilier peut revenir à sa position d'équilibre stable (gîte nul).
- C.1.5 Le moment du poids est également appelé moment redressant. Pour quel intervalle d'angles de gîte cette expression n'est pas appropriée ? Justifier.
- C.1.6 L'angle de gîte θ_{AVS} correspond-il à une position d'équilibre ? Justifier.
- Discuter la stabilité de cet éventuel équilibre (aucun développement mathématique n'est demandé).
- C.1.7 Au programme des élèves de baccalauréat professionnel, figure le module T5 (Document 2.a). Le Document 3.e présente une évaluation d'un élève sur la capacité « Déterminer expérimentalement une mesure de la force de poussée d'Archimède ». Analyser cette production et proposer une correction du protocole expérimental.
- C.1.8 Proposer une autre expérience qui permettrait de mesurer la force de poussée d'Archimède.

C.2 Propulsion et chavirage du voilier

On suppose dans cette partie que le mouvement du bateau est rectiligne uniforme. Les mouvements de rotation du bateau sont supposés nuls. La direction du voilier est différente de celle de son axe longitudinal de symétrie. L'angle entre les deux directions correspond à l'angle de dérive noté α_d (Document 1.l). L'angle de gîte θ du bateau est supposé constant.

L'action du vent est désormais prise en compte.

C.2.1 Faire l'inventaire des actions mécaniques exercées sur le voilier et donner la relation entre les forces correspondantes. Justifier.

C.2.2 La vitesse relative du vent par rapport au bateau, et loin du bateau, est noté \vec{U} . Il s'agit de la vitesse du vent dans le référentiel du bateau supposé galiléen.

Expliquer pour quelle raison le référentiel du bateau peut être considéré galiléen.

C.2.3 La vitesse \vec{U} est modifiée au voisinage de la voile. Il existe une couche limite à proximité de la voile, dans laquelle les phénomènes de viscosité ne sont pas négligeables. Cette couche limite permet une circulation de fluide induite par la forme asymétrique de la voile (Document 1.m).

La vitesse de l'air au voisinage de la voile est donc modélisée par la composition d'un écoulement d'air rectiligne (vitesse \vec{U}) et d'un écoulement tournant autour de la voile dans le sens indiqué sur le Document 1.m.

Comparer la vitesse des particules fluides aux voisinages de l'intrados et de l'extrados.

C.2.4 En dehors de la couche limite le fluide peut être considéré comme parfait.

Justifier à l'aide de la relation de Bernoulli la présence d'une force aérodynamique. Vous rappellerez la signification physique de la relation et ses conditions d'application.

C.2.5 Les élèves de baccalauréat professionnel doivent, d'après le programme (module T5 du Document 2.a), savoir répondre à la question « pourquoi un avion vole-t-il ? » ou à toute autre question formulée par le professeur menant à la mise en évidence expérimentale de l'effet Venturi et à une connaissance de cet effet.

Expliquer en langage simple ce que les élèves doivent retenir de l'effet Venturi.

C.2.6 En supposant que la direction de la force aérodynamique est perpendiculaire à la corde de la voile, tracer, sur le schéma de l'Annexe 5, le vecteur force aérodynamique au point A sans soucis d'échelle mais en précisant et en justifiant le sens de cette force.

C.2.7 La composante parallèle au mouvement du bateau de cette force correspond à la force de propulsion du bateau alors que la composante perpendiculaire est la force de dérive notée \vec{F}_D .

Une force anti-dérive, notée \vec{F}_A , et opposée à \vec{F}_D s'exerce sur les appendices du voilier, fixées sous la coque (quille, safrans, dérives). Les deux forces \vec{F}_D et \vec{F}_A représentées sur le schéma du Document 1.n, forment un couple appelé couple de chavirage.

Justifier ce nom.

Pour un mouvement du bateau rectiligne uniforme, déterminer, à partir de la courbe de stabilité (Document 1.k), un ordre de grandeur de l'angle de gîte correspondant au moment de couple de chavirage maximum. Justifier à l'aide des propriétés de conservation du moment cinétique.

C.2.8 L'expression de l'énergie nécessaire pour faire chavirer le navire est la suivante :

$$\Delta E = \int_0^{\theta_{AVS}} \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{P}) d\theta \text{ avec } \mathcal{M}_{\Delta}(\vec{P}) \text{ moment du poids par rapport à l'axe } \Delta.$$

Expliquer de quelle manière il est possible d'évaluer l'énergie nécessaire pour faire chavirer le bateau, à partir de la courbe du Document 1.k.

- C.2.9 Le règlement IMOCA concernant les monocoques de 60 pieds de compétition, impose que l'aire positive sous la courbe de stabilité doit être au minimum 5 fois supérieure à l'aire négative. Interpréter cet aspect du règlement en des termes énergétiques.
- C.2.10 Le moment du poids est également appelé moment redressant. Selon le règlement IMOCA, le couple de redressement maximum autorisé est égal à 320 kN.m. Expliquer pourquoi cette grandeur est limitative de la puissance motrice du voilier en mouvement rectiligne uniforme.

Partie D Evaluation de la mesure de salinité de l'eau osmosée

L'enseignant de maths-sciences a choisi d'évaluer ses élèves de baccalauréat professionnel sur une activité liée au contrôle de l'efficacité de l'osmoseur pour éliminer une grande partie des ions contenus dans l'eau de mer.

Le Document 3.f présente une situation d'évaluation proposée aux élèves au cours de la classe de première et faisant appel à un dosage avec suivi conductimétrique.

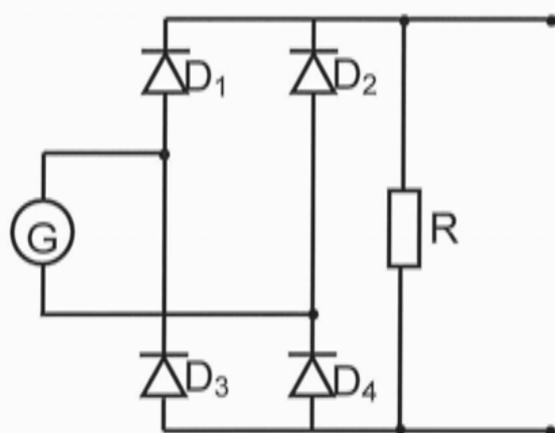
- D.1.1 Compléter les parties grisées de la grille d'évaluation n°1 de l'Annexe 6 (à rendre avec la copie) en précisant les capacités et connaissances évaluées et en vous référant au Document 2.c.
- D.1.2 Compléter le tableau d'évaluation n°1 de l'Annexe 6 en indiquant les questions correspondant aux différentes compétences évaluées.
- D.1.3 Dans cette évaluation, un appel professeur indique que l'élève réalisera le prélèvement de la prise d'essai et le dosage devant lui. Lister les critères d'évaluation de cette observation dans le tableau donné dans l'Annexe 7.
- D.1.4 Donner une estimation du volume à l'équivalence dans le cas d'une eau dont la concentration massique en ion chlorure serait égale à 250 mg.L⁻¹.
- D.1.5 Un élève écrit sur son compte rendu qu'il a mesuré la conductance. Que pensez-vous de son affirmation ? Argumenter.
- D.1.6 Un conductimètre est un appareil alimenté en courant alternatif de fréquence variable (entre 50 et 40 000 Hz) et relié à une cellule conductimétrique. Expliquer les raisons de ce type d'alimentation électrique et préciser brièvement la constitution de la cellule conductimétrique. Un schéma pourra illustrer votre réponse.
- D.1.7 Chaque cellule est caractérisée par sa constante de cellule notée K_{cell} .

Est-il nécessaire d'estimer la valeur de la constante de cellule pour ce type de dosage ?

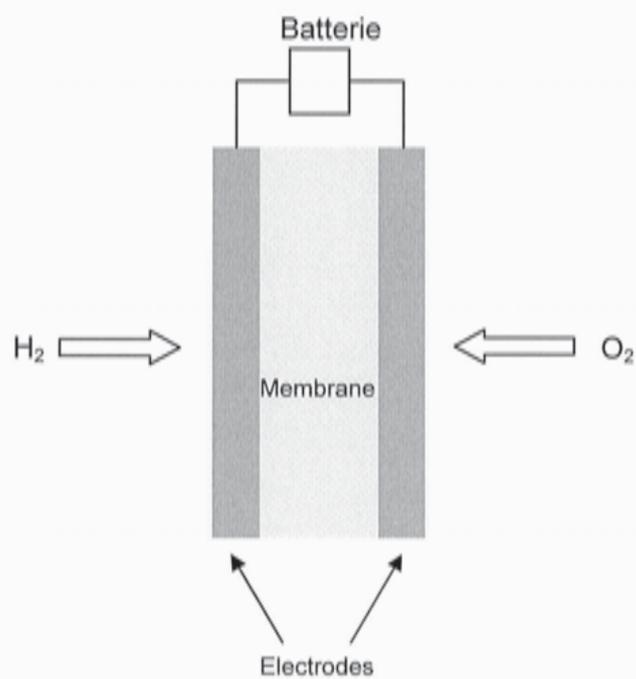
Interpréter les variations de conductivité observées avant et après l'équivalence. On écrira la relation permettant de calculer la conductivité du mélange et on analysera l'évolution de chaque terme au cours du dosage.

ANNEXES. Documents-réponses à rendre avec la copie

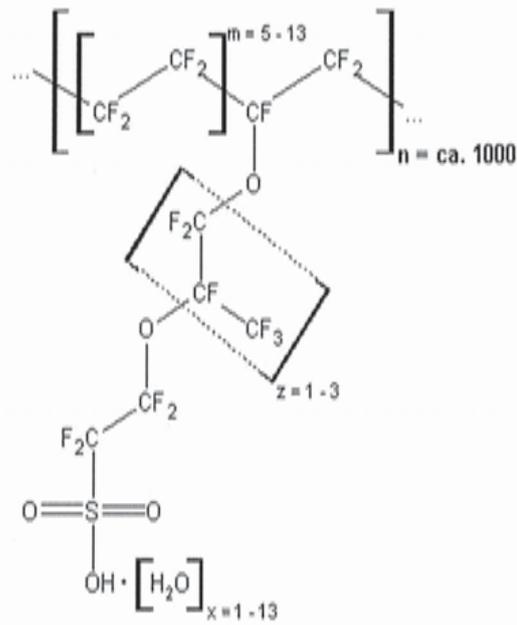
Annexe 1. Conversion alternatif/continu



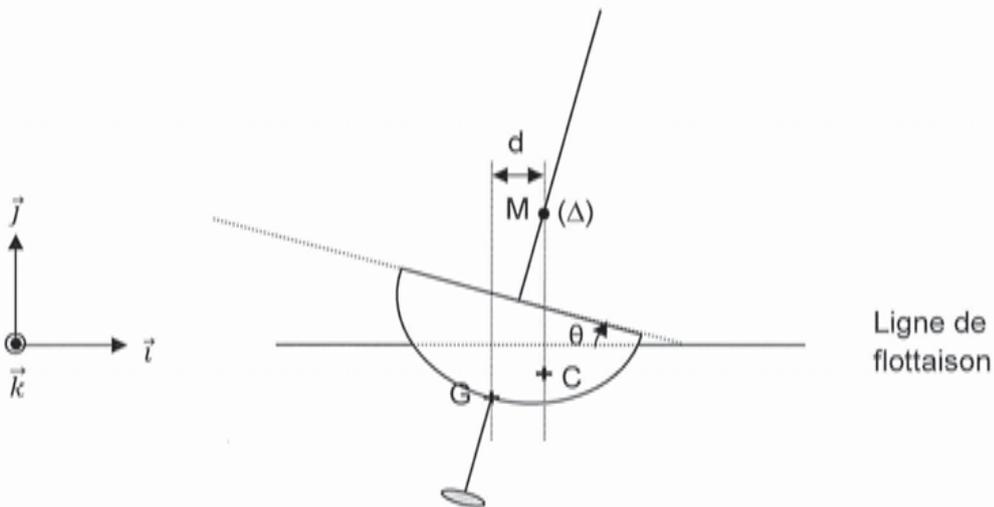
Annexe 2. Pile à combustible



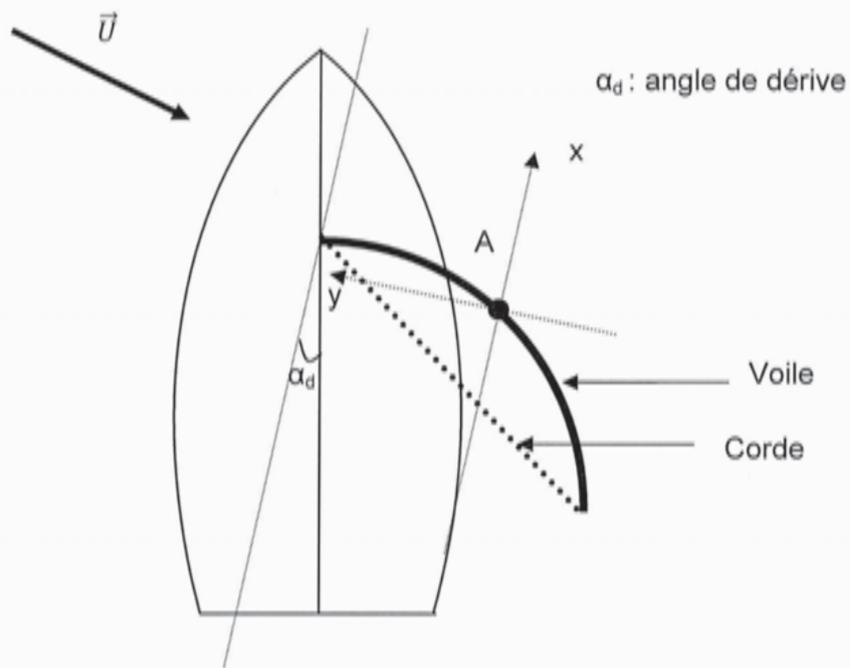
Annexe 3. Membrane Nafion®



Annexe 4. Voilier hors équilibre



Annexe 5. Vent relatif et force de propulsion (vue de dessus)



Annexe 6. grilles d'évaluation 1

ANNEXE 1

GRILLE NATIONALE D'ÉVALUATION
EN MATHÉMATIQUES ET
EN SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

NOM et Prénom :

Diplôme préparé :

Séquence d'évaluation n°

Liste des capacités, connaissances et attitudes évaluées

Capacités	
Connaissances	
Attitudes	

Évaluation

Compétences	Capacités	Questions	Appréciation du niveau d'acquisition
S'approprier	Rechercher, extraire et organiser l'information.		
Analyser Raisonner	Émettre une conjecture, une hypothèse. Proposer une méthode de résolution, un protocole expérimental.		
Réaliser	Choisir une méthode de résolution, un protocole expérimental. Exécuter une méthode de résolution, expérimenter, simuler.		
Valider	Contrôler la vraisemblance d'une conjecture, d'une hypothèse. Critiquer un résultat, argumenter.		
Communiquer	Rendre compte d'une démarche, d'un résultat, à l'oral ou à l'écrit.		
			/ 10

Annexe 7. Grille d'évaluation 2

compétence	critères d'évaluation	manipulation de l'élève	
réaliser	<u>lors du pipetage :</u> <ul style="list-style-type: none"> • maniement du dispositif d'aspiration • pipette tenue droite et bécher incliné • lecture et respect du trait de jauge 	correcte	incorrecte