

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

## SESSION 2017

Série STI2D  
Toutes spécialités

Série STL  
Spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

**PHYSIQUE – CHIMIE**

**DURÉE : 3 HEURES**

**COEFFICIENT : 4**

**CALCULATRICE AUTORISÉE**

*L'emploi de toutes les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'elles ne soient pas connectables à un réseau.*

**Ce sujet comporte 17 pages numérotées de la page 1/17 à la page 17/17.**

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

**Les pages 16/17 à 17/17 où figurent les documents réponses sont à numéroté et à rendre avec la copie même non complétées.**

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 la-le candidat-e.

## LE PASSEUR FLUVIAL NOUCH



Source : photo © maxencegraf-photography.fr

Pour limiter l'utilisation de la voiture, le quartier de la Chaume et les quais du port de pêche des Sables d'Olonne sont reliés par une navette maritime appelée communément « Le Passeur ».

Source : d'après « Navette maritime – Passeur A » sur <http://www.lessablesdolonne-tourisme.com/>

La ville des Sables d'Olonne a passé commande à *Alternative Energies (Alt.en)* de deux passeurs électriques zéro émission qui bénéficient des dernières évolutions technologiques en matière de propulsion et d'énergie. Des modifications sur l'intégration hydrodynamique ont permis de réduire significativement la consommation.

La technologie « lithium fer phosphate » a été choisie pour les batteries. Le passage aux batteries lithium combiné à une installation photovoltaïque à haut rendement procure une autonomie suffisante pour effectuer la journée de service sans recharge.

Source : d'après <http://www.alternativesenergies.com/index.php/fr/news-fr/6-alten-livre-deux-passeurs-zero-emission-pour-les-sables-d-olonne>

### PARTIE A – LES BATTERIES LITHIUM FER PHOSPHATE ET LES CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES

### PARTIE B – UN PASSEUR ZÉRO ÉMISSION

### PARTIE C – L'AMÉLIORATION DE L'HYDRODYNAMIQUE

# PARTIE A – LES BATTERIES LITHIUM FER PHOSPHATE ET LES CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES

## A.1 Intérêt des batteries lithium fer phosphate (LFP)

- A.1.1** Citer au moins trois avantages et au moins un inconvénient des batteries LFP en vous appuyant sur les **documents A1 et A2** de la **page 5**.
- A.1.2** Représenter sur votre copie le schéma électrique d'une batterie LFP de **12,8 V** constituée de cellules de **3,2 V**, chacune symbolisée par un générateur de courant continu.

## A.2 Fonctionnement de la batterie LFP

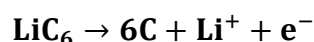
Le fonctionnement d'une cellule de la batterie LFP est expliqué en détails par le **document A3** de la **page 6**.

En fonctionnement, la batterie se décharge. Il se produit alors les réactions suivantes aux électrodes :

Cathode : Formation de phosphate de fer lithié  $\text{LiFePO}_4$  selon l'équation suivante :



Anode : Libération des ions lithium qui étaient « piégés » dans les sites de carbone, selon l'équation suivante :



- A.2.1** Attribuer à chaque électrode, cathode et anode, le type de réaction s'y produisant, oxydation ou réduction.
- A.2.2** Écrire l'équation bilan de fonctionnement de la batterie en décharge.
- A.2.3** En utilisant le **document A3** de la **page 6**, indiquer sur le **document réponse DR1** de la **page 16** le trajet des ions lithium,  $\text{Li}^+$ , à travers la membrane séparant les deux compartiments de la batterie, pendant le fonctionnement en décharge.
- A.2.4** Indiquer sur le **document réponse DR1** de la **page 16** le sens des électrons dans le circuit électrique, le sens du courant électrique ainsi que la polarité des électrodes.

### A.3 Les panneaux photovoltaïques

#### DOCUMENT

Le fabricant Alt.en précise les caractéristiques suivantes pour ses panneaux solaires :  
« Les cellules photovoltaïques sont en mesure de produire entre  $200 \text{ W.h.m}^{-2}$  par jour et  $1\ 000 \text{ W.h.m}^{-2}$  par jour selon la technologie (mono ou poly cristallin), la situation géographique et l'ensoleillement de la journée ».

Source : [http://www.alternativesenergies.com/index.php/fr/faq-fr#batt\\_lithium](http://www.alternativesenergies.com/index.php/fr/faq-fr#batt_lithium)

Le document A4 de la page 7 présente quelques caractéristiques techniques et énergétiques des passeurs NOUCH.

A.3.1 Dans un des tableaux du document A4 de la page 7 figurent deux erreurs scientifiques de vocabulaire :

Capacité	60 kW. h
Poids	600 kg

Extrait du document A4

Proposer des termes plus corrects pour les corriger.

A.3.2 Pour une production moyenne des cellules photovoltaïques de  $600 \text{ W.h.m}^{-2}$  par jour, déterminer l'énergie électrique produite par l'installation photovoltaïque du passeur NOUCH par jour. Vous utiliserez une des données du document A4 de la page 7.

A.3.3 Donner une définition du rendement,  $\eta$ , des cellules photovoltaïques.

En utilisant le document A5 de la page 8, montrer que ce rendement, pour une production moyenne de  $600 \text{ W.h.m}^{-2}$  par jour, est  $\eta = 16 \%$  aux Sables d'Olonne.

A.3.4 Calculer le rendement minimal,  $\eta_{\min}$ , et le rendement maximal,  $\eta_{\max}$ , des cellules photovoltaïques correspondant à leurs variations de production quotidienne entre  $200 \text{ W.h.m}^{-2}$  par jour et  $1\ 000 \text{ W.h.m}^{-2}$  par jour, toujours aux sables d'Olonne.

A.3.5 À l'aide du document A6 de la page 8, commenter le résultat de la question A.3.3, en justifiant la phrase du texte d'introduction de la page 2 : « installation photovoltaïque à haut rendement ».

### Document A1 : choix des batteries lithium fer phosphate

Les batteries lithium fer phosphate (LiFePO<sub>4</sub> ou LFP) sont les plus sûres parmi les batteries au « lithium-ion » traditionnelles. La tension nominale d'une cellule LFP est de 3,2 V. Une batterie LFP de 12,8 V est composée de 4 cellules connectées en série, et une batterie de 25,6 V est composée de 8 cellules connectées en série. Robuste, une batterie au plomb tombera en panne prématurément à cause de la sulfatation :

- Si elle fonctionne en mode déficitaire pendant de longues périodes (c'est à dire que la batterie est rarement ou jamais entièrement chargée).
- Si elle est laissée partiellement chargée, ou pire, entièrement déchargée (pour des yachts ou mobile-home au cours de l'hiver).

Il n'est pas nécessaire de charger complètement une batterie LFP. La durée de vie s'améliore même légèrement en cas de charge partielle au lieu d'une charge complète. Cela représente un avantage majeur de la batterie LFP par rapport à la batterie au plomb. Ces batteries présentent d'autres avantages tels qu'une large plage de température d'exploitation, une performance excellente d'accomplissement de cycle, une résistance interne faible et une efficacité élevée (voir ci-dessous). Une batterie LFP est donc la chimie de premier choix pour des applications très exigeantes.

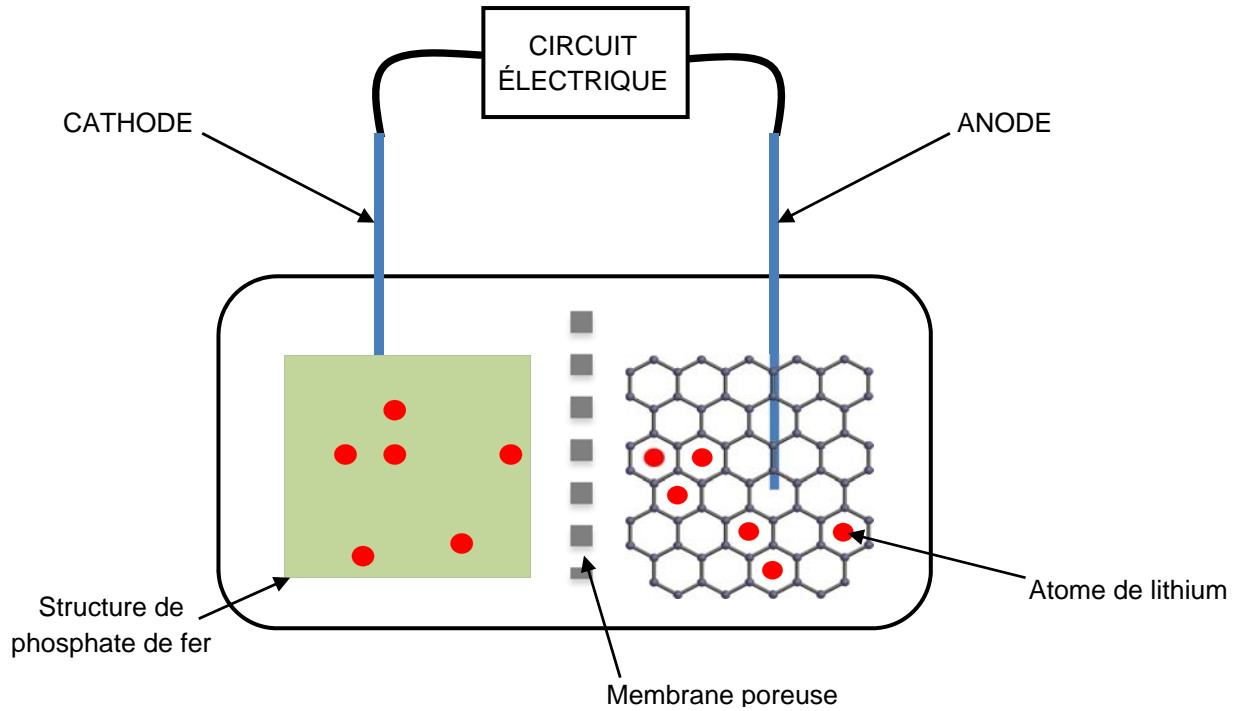
Source : d'après <https://www.victronenergy.fr/batteries/lithium-battery-12-8v>

### Document A2 : comparaison de quelques batteries


Technologie	Plomb	Lithium ion Li-ion	Lithium polymère Li-Po	Lithium fer phosphate LiFePO <sub>4</sub>
Énergie stockée en W.h par kg	40	200	190	120
Durée de vie en nombre de cycles	200 à 400	300 à 500	300 à 400	2 000
Coût en € par W.h	0,20 €	0,65 €	0,70 €	0,90 €
Dangers	Explosion et acide	Explosion et incendie	Incendie	Dégagement de chaleur
Impact environnemental. Polluants	Plomb Mercure	Cobalt Nickel	Cobalt Nickel	Aucun

Source : synthèse d'après [www.masolise.com](http://www.masolise.com)

**Document A3** : principe de fonctionnement d'une cellule d'une batterie LFP


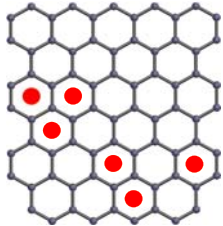
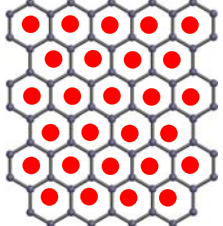


C'est l'ion lithium qui assure le déplacement de charge électrique à l'intérieur de la batterie.

<p>Lorsque celle-ci est entièrement chargée, tous les atomes de lithium sont « piégés » dans les sites de carbone, formés par les hexagones de graphite. Chaque hexagone peut piéger un atome de lithium.</p>	
---	---

Lorsque la batterie est entièrement déchargée, les sites hexagonaux de carbone sont vides et les atomes de lithium sont tous combinés au phosphate de fer. La migration du lithium se fait sous la forme ionique  $\text{Li}^+$  à travers la membrane.

Un cycle correspond à une décharge complète, suivie d'une charge complète.

Détail du compartiment « ANODE » constitué de carbone en structure hexagonale		
		
Batterie complètement déchargée	Batterie partiellement chargée	Batterie complètement chargée

### Caractéristiques de structure et de fonctionnement

Charge de travail	3 300 heures/an
Vitesse	4 noeuds
Type	Catamaran
Cabines	Alucomposite
Coques de pont	Composite Sandwich GFRP
Moteur	POD orientable
Longueur	10,00 m
Largeur	3,50 m
Déplacement en charge	7 tonnes
Surface	28 m <sup>2</sup>
Nombre de passagers	35

### Caractéristiques techniques et énergétiques

Puissance	2 × 15 kW
Batterie	LiFePO <sub>4</sub>
Capacité	60 kW.h
Poids	600 kg
Durée de charge complète	5 h
Panneaux photovoltaïques	16 m <sup>2</sup>
Autonomie des batteries	12 h
Vitesse maxi	7,5 noeuds = 14 km/h
Consommation par passager	16 W.h/km

**Source** : tableaux synthétisés à partir de :  
<http://www.alternativesenergies.com/index.php/fr/realisation-fr?id=32>

**Document A5 :** carte solaire de la France indiquant l'énergie solaire moyenne en kW.h par mètre carré par jour



Source : d'après <http://www.tecsol.fr/imagehome/carte2010.jpg>

### Document A6 – Tableau comparatif des performances photovoltaïques

Technologie	Amorphe	Polycristallin	Monocristallin	Hybride
Rendement dans les conditions standard*	7 à 8 %	11 à 13 %	14 à 16 %	17 à 19 %

\* (25°C, intensité lumineuse de 1 000 W/m<sup>2</sup>)

Source : d'après <http://www.energiesdouce.com/content/15-conseils-faq-panneaux-solaires-photovoltaïques-faq>



## **PARTIE B – UN PASSEUR ZÉRO ÉMISSION**

Cette partie a pour objectif d'estimer le gain en gaz d'émission  $\text{CO}_2$  à chaque traversée grâce au passage à la propulsion électrique.

Nous considérerons que chaque traversée se fait à plein, c'est-à-dire que la capacité maximale de passagers est atteinte.

### **B.1 Questions préliminaires. La constitution du gazole**

- B.1.1** En s'appuyant sur le **document B1** de la **page 11**, expliquer en quelques mots l'expression « passeur zéro émission ».
- B.1.2** À l'aide des **documents B2 et B3** de la **page 11**, expliquer pourquoi la masse volumique du gazole n'est pas fixée, mais peut varier dans une fourchette de valeurs.
- B.1.3** En vous aidant de **l'annexe B4** de la **page 12** présentant la coupe d'une tour de distillation du pétrole brut, donner un encadrement de la température d'ébullition du gazole.

### **B.2 Propriétés de l'hexadécane**

La température d'ébullition précise de l'hexadécane fournie par le **document B3** de la **page 11** a été mesurée à l'aide d'une sonde de température PT100 de classe A dont les caractéristiques sont précisées dans le **document B5** de la **page 12**.

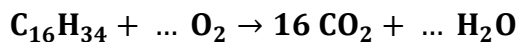
- B.2.1** Compléter sur le **document réponse DR2** de la **page 16** le schéma du transducteur PT100 en précisant les grandeurs physiques d'entrée et de sortie.
- B.2.2** Donner un encadrement de la température d'ébullition de l'hexadécane en tenant compte de l'incertitude de la sonde  $U(T) = \pm 0,15^\circ\text{C}$ .
- B.2.3** En utilisant la relation du capteur PT100 indiquée dans le **document B5** de la **page 12**, et en tenant compte de l'incertitude sur la température, retrouver par le calcul les valeurs suivantes de l'encadrement de la résistance mesurée par la sonde.

$$210,40 \Omega < R < 210,52 \Omega$$

### B.3 La combustion du gazole

Pour la suite, on considérera que le gazole est constitué exclusivement de l'hydrocarbure hexadécane  $C_{16}H_{34}$ .

**B.3.1** Reproduire et ajuster sur votre copie l'équation de combustion complète du gazole :



**B.3.2** À l'aide des données du **document B3** de la **page 11**, calculer l'énergie produite par la combustion de 20 L de gazole.

Détailler soigneusement les calculs et donner le résultat en **MJ**, puis en **kW.h**.

**Rappel** : 1 kW.h = 3 600 kJ et 1 M =  $10^6$

**B.3.3** Commenter alors la phrase suivante affirmée dans le **document B1** de la **page 11** : « Une batterie de 200 kW.h en  $LiFePO_4$  correspondant à une technologie sûre et accessible financièrement permet de remplacer 20 litres de gazole pour fournir la même énergie ».

**B.3.4** Par un calcul que vous détaillerez, montrer que la quantité de matière contenue dans 20 L de gazole est d'environ 75 mol.

**B.3.5** En déduire la quantité de matière en moles de  $CO_2$  produite par la combustion complète de 20 L de gazole.

**B.3.6** En utilisant le volume molaire des gaz, montrer que le volume de dioxyde de carbone,  $CO_2$ , produit par la consommation de 20 L de gazole est d'environ 29 m<sup>3</sup>.

**Donnée** : volume molaire des gaz à 20°C et sous pression atmosphérique :

$$V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

**Rappel** : 1 m<sup>3</sup> = 1 000 L

### B.4 Gain d'émission de $CO_2$ par traversée

Les questions de la **partie B.3** ont permis d'établir que la consommation de 20 L de gazole produit environ 200 kW.h et libère environ 29 m<sup>3</sup> de dioxyde de carbone,  $CO_2$ .

**B.4.1** La distance d'une traversée est d'environ 100 m. En exploitant le **document A4** de la **page 7** et en considérant que chaque traversée s'effectue « à plein », c'est-à-dire que la capacité maximale en passagers est atteinte, montrer que le besoin énergétique d'une traversée est de 56 W.h.

**B.4.2** Par un raisonnement détaillé, en déduire alors que le volume de dioxyde de carbone équivalent produit par chaque traversée avec une propulsion à combustion, serait de 8,1 L.

**B.4.3** Sachant que le trafic est d'environ 200 traversées par jour, estimer le gain annuel en tonnes de dioxyde de carbone du choix de la propulsion électrique.

**Donnée** : 1 L de  $CO_2$  a une masse d'environ 1,8 g.

## ANNEXE B : un passeur zéro émission

**Document B1** : solutions et choix énergétiques de la compagnie Alt.en pour la propulsion des passeurs fluviaux

L'adoption des batteries  $\text{LiFePO}_4$  a permis de remplacer les moteurs à combustion utilisant comme carburant le gazole dont la combustion produit un des principaux gaz à effet de serre, le dioxyde de carbone, ainsi que de nombreuses particules fines, suspectées d'être à l'origine de maladies à long terme.

Une batterie de 200 kW.h en  $\text{LiFePO}_4$  correspondant à une technologie sûre et accessible financièrement permet de remplacer 20 litres de gazole pour fournir la même énergie.

Source : [www.alternativesenergies.com](http://www.alternativesenergies.com)

**Document B2** : composition du gazole

L'essence et le gazole (également appelé gas-oil ou diesel) sont deux types de carburants issus du raffinage de pétrole brut. Ils se différencient par leurs caractéristiques chimiques ainsi que par le type de moteurs qu'ils alimentent.

L'essence est composée d'un mélange d'hydrocarbures légers, majoritairement de l'heptane ( $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ), tandis que le gazole est constitué d'hydrocarbures plus lourds répartis autour de l'hexadécane ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ). Ils sont tous deux produits à partir de pétrole brut dont les composants sont extraits en différentes coupes par distillation. Les produits en résultant sont ensuite soumis à un certain nombre de transformations pour en améliorer la qualité.

Source : d'après <http://www.connaissancedesenergies.org/quelle-est-la-difference-entre-l-essence-et-le-gazole-120626>

**Document B3** : caractéristiques physico-chimiques du gazole et de l'hexadécane

Gazole

Masse volumique :  $820 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} < \rho < 860 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

Masse volumique moyenne :  $\rho_{\text{moyen}} = 850 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

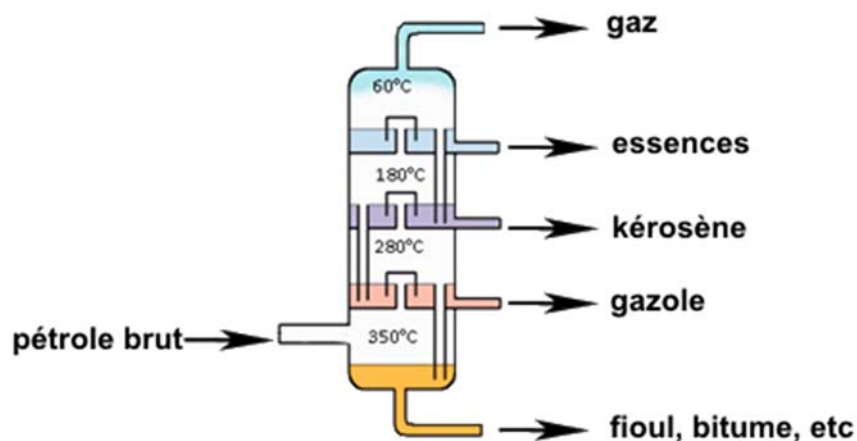
Pouvoir calorifique moyen :  $\text{PC}_{\text{moyen}} = 44,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Hexadécane ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ )

Masse molaire :  $M = 226 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$


Température d'ébullition à la pression atmosphérique :  $t_{\text{éb}} = 286,87^\circ\text{C}$

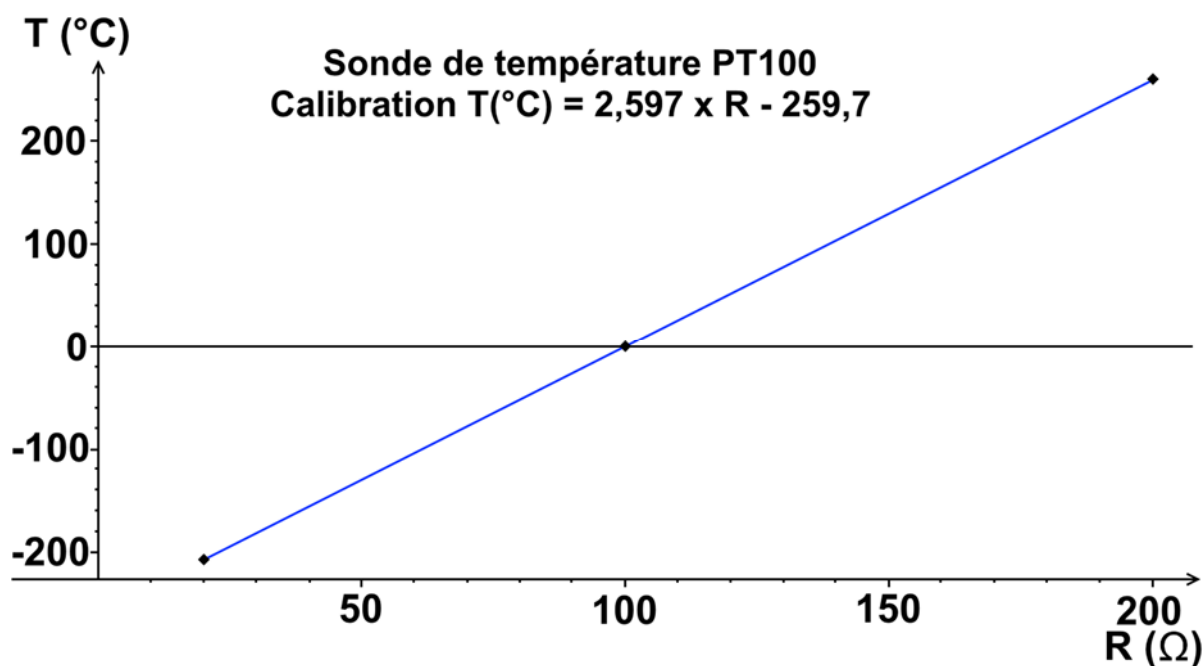
**Document B4 : distillation du pétrole brut**



**Source** : Chimie Organique, troisième degré. Travail collectif réalisé par des professeurs de chimie sous la direction des Inspecteurs Philippe ARNOUD, Jacques FURNÉMONT et Pierre COLLETTE.

**Document B5 – La sonde de température PT100**

	La résistance, $R$ , augmente avec la température selon la relation linéaire suivante
	$T(^{\circ}\text{C}) = (2,597 \times R) - 259,7$
	$R$ est la résistance de la sonde en ohm ( $\Omega$ ) Ainsi, lorsque la résistance vaut 100 $\Omega$ , la température mesurée est de 0°C
<b>La sonde PT100</b>	



## PARTIE C – L'AMÉLIORATION DE L'HYDRODYNAMIQUE

Sur un bateau, la résistance à l'avancement et la puissance nécessaire aux moteurs augmentent fortement avec la vitesse. Il faut donc maîtriser la vitesse pour être en mesure de fonctionner pendant toute la journée sans recharge intermédiaire.

L'hydrodynamisme est l'équivalent de l'aérodynamisme mais dans un fluide liquide. Pour un fluide peu visqueux, comme l'eau, et pour des vitesses peu élevées, nous pouvons considérer que les équations de l'aérodynamisme sont valables pour l'hydrodynamisme.

Les problèmes d'aérodynamisme existent aussi mais ils sont alors négligeables.

Ainsi, les forces de frottements fluides,  $F_x$ , opposées à la vitesse, se résument à l'expression mathématique présentée dans le **document C1** de la **page 15**.

Pour améliorer l'hydrodynamisme, les choix de construction du passeur NOUCH se sont portés sur une coque de type catamaran et en matériau Composite Sandwich GFRP.

### C.1 Les forces exercées sur le passeur

**C.1.1** La force de poussée d'Archimède,  $\pi_a$ , compense exactement le poids du passeur. Expliquer pourquoi et représenter vectoriellement sur le **document réponse DR3 (partie démarrage)** de la **page 17** cette force reportée au centre de gravité de l'ensemble,  $G$ .

**C.1.2** Par une analyse dimensionnelle, montrer que le coefficient,  $C_x$ , des forces de frottements fluides est sans unité.

**Rappel :  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$**

**C.1.3** Représenter vectoriellement sur le **document réponse DR3 (partie démarrage)** de la **page 17** la force de frottements fluides,  $\vec{F}_x$ , appliquée conventionnellement, elle aussi, au centre de gravité de l'ensemble,  $G$ .

**C.1.4** En utilisant les **documents C1 et C2** de la **page 15**, expliquer en quelques mots en quoi l'utilisation d'un catamaran plutôt qu'un monocoque permet d'améliorer l'hydrodynamisme du passeur. Préciser sur quel facteur l'amélioration principale est portée.

## C.2 La dynamique du passeur.

L'évolution au cours du temps de la vitesse du bateau, du démarrage jusqu'à atteindre sa vitesse de croisière, peut être modélisée simplement par la courbe présentée dans le **document réponse DR4** de la **page 17**.

**C.2.1** Sur le **document réponse DR4** de la **page 17** identifier et qualifier le mouvement pour chacune des deux parties distinctes de cette modélisation.

**C.2.2** Évaluer graphiquement à l'aide du **document réponse DR4** de la **page 17** la vitesse de croisière atteinte par le passeur NOUCH. Exprimer cette vitesse en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Indication** :  $1,0 \text{ nœud} = 1,85 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

**C.2.3** Lorsque la vitesse de croisière est atteinte, que peut-on dire des forces exercées sur le passeur NOUCH ?

Représenter alors soigneusement l'ensemble de ces forces sur le **document réponse DR3 (partie vitesse de croisière)** de la **page 17**.

**C.2.4** À l'aide du **document réponse DR4** de la **page 17**, évaluer l'accélération,  $a$ , pour l'intervalle de temps entre **0** et **30 s** correspondant au démarrage.

**C.2.5** En déduire alors la valeur de la résultante des forces, sachant que la masse du passeur en charge vaut  $m = 7,0 \text{ tonnes}$ .

### Document C1 : les forces de frottements fluides

En hydrodynamisme, pour un fluide peu visqueux et pour des vitesses peu élevées, les forces de frottements fluides se résument à l'expression mathématique suivante :

$$F_x = \frac{1}{2} \rho \times S \times C_x \times V^2$$

$\rho$  désigne la masse volumique du fluide, en  $\text{kg. m}^{-3}$  ;

$S$  désigne la surface « frontale » immergée de la coque qui entre en contact avec l'eau au cours de son avancée, en  $\text{m}^2$  ;

$C_x$  désigne le coefficient de pénétration, qui dépend de la forme et du matériau utilisé ;

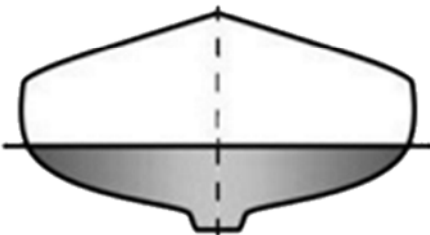
$V$  désigne la valeur de la vitesse du bateau, en  $\text{m. s}^{-1}$ .

### Document C2 : monocoques et catamarans

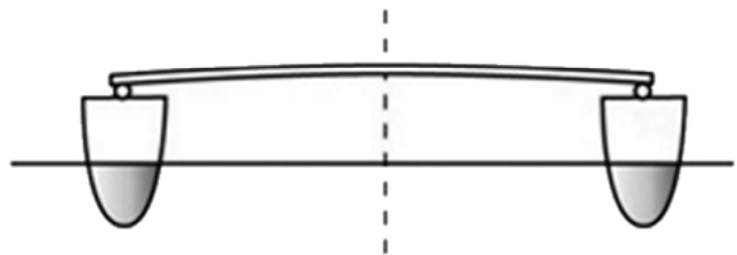
Coupe vue de face des deux principaux types de coques de bateaux.

La partie grisée représente la partie immergée dans l'eau.

#### Monocoque



#### Catamaran

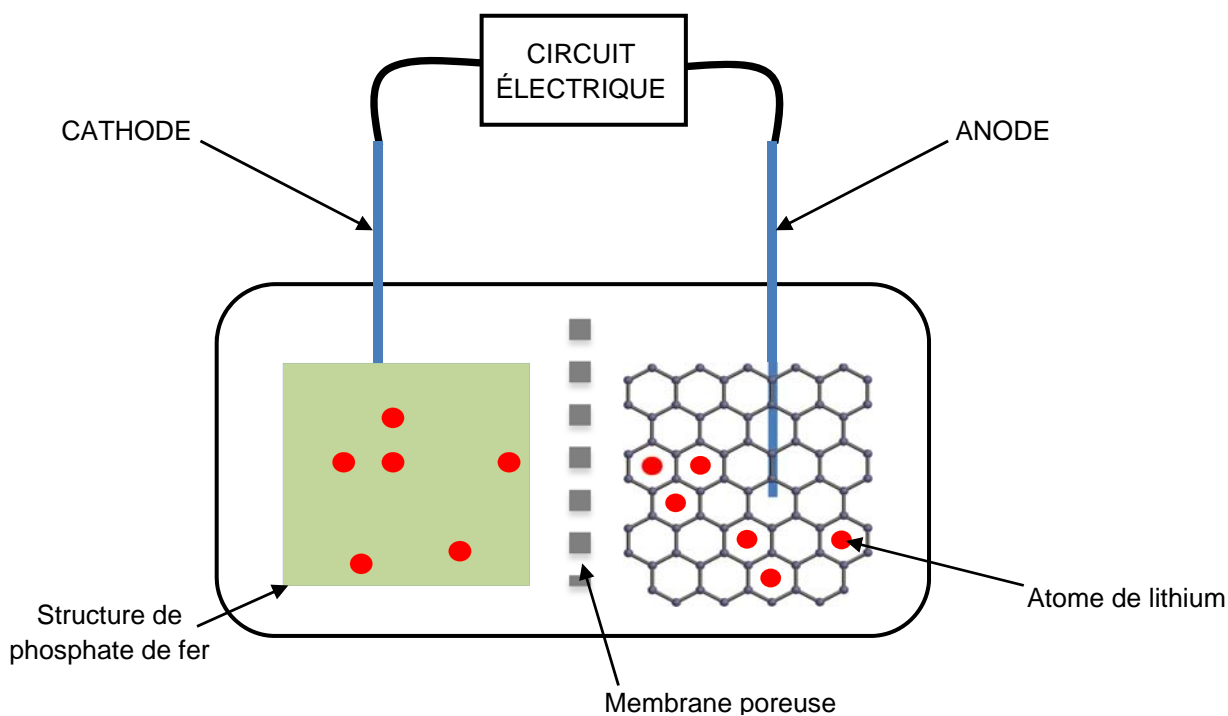


Source : <http://www.voilesetvoiliers.com/>

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** : fonctionnement d'une cellule de la batterie  $\text{LiFePO}_4$   
(question A.2.3)



**Document réponse DR2** : sonde de température PT100 (question B.2.1)



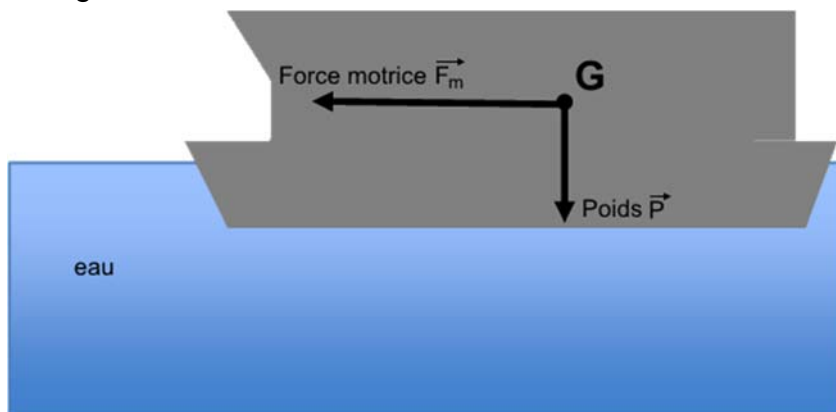


**Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée**

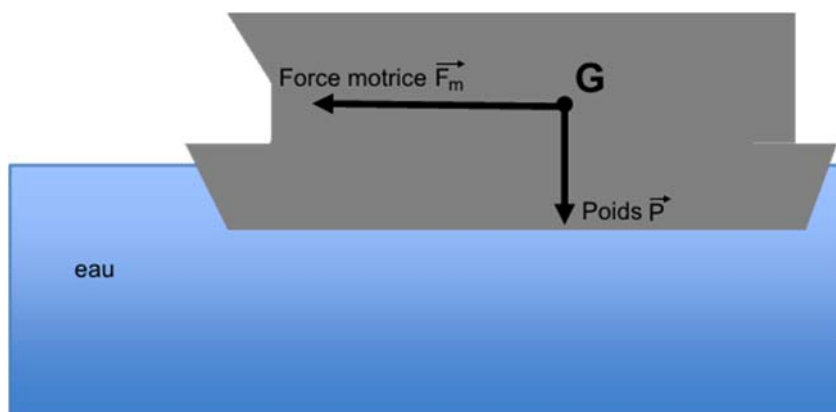
**(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)**

**Document réponse DR3 : forces exercées sur le passeur (questions C.1.1 et C.1.3)**

Pendant le démarrage



En vitesse de croisière



**Remarque :** les échelles horizontales et verticales pour les représentations des vecteurs n'ont volontairement pas été respectées.

**Document réponse DR4 : dynamique du passeur (question C.2.4)**

Vitesse  $V$  (en noeuds)

